



TUGAS AKHIR - MO 141326

**KAJIAN DAN PERANCANGAN *GAS PIPELINE* UNTUK
LAUT DALAM DENGAN METODE *J-LAY* DITINJAU DARI
KONDISI INSTALASI DAN OPERASIONAL**

Yosua Niko Putra Permata

NRP. 04311440000105

Dosen pembimbing

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc.

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



TUGAS AKHIR - MO 141326

**KAJIAN DAN PERANCANGAN *GAS PIPELINE* UNTUK LAUT
DALAM DENGAN METODE *J-LAY* DITINJAU DARI KONDISI
INSTALASI DAN OPERASIONAL**

Yosua Niko Putra Permata

NRP. 04311440000105

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc.

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

**Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)



Final Project - MO 141326

**DESIGN AND STUDY OF DEEPWATER GAS PIPELINE
BASED ON THE OPERATIONAL AND INSTALLATION
CONDITION WITH THE J-LAY METHOD**

**Yosua Niko Putra Permata
NRP. 04311440000105**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc.
Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc.**

**DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Technology Institute
Surabaya
2018**

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN DAN PERANCANGAN *GAS PIPELINE* UNTUK LAUT DALAM DENGAN METODE *J-LAY* DITINJAU DARI KONDISI INSTALASI DAN OPERASI.

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

YOSUA NIKO PUTRA PERMATA

NRP. 04311440000105

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc. (Pembimbing 1)

2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 1)

4. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 2)

5. Ir. J. J. Soedjono, M.Sc. (Penguji 3)

Surabaya, Juli 2018

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

Kajian dan Perancangan Gas Pipeline untuk Laut Dalam dengan Metode J-Lay Ditinjau dari Kondisi Instalasi dan Operasi.

Nama Mahasiswa : Yosua Niko Putra Permata
NRP : 04311440000105
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen pembimbing : Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc.
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRAK

Banyak aspek yang harus diperhitungkan dalam mendesain pipa bawah laut. Biasanya *load case* dominan yang terjadi pada pipa adalah dari tekanan internalnya. Seiring berjalannya waktu pipa mulai diinstalasi pada laut dalam. Semakin dalam laut, semakin tinggi pula tekanan hidrostatiknya. Tingginya tekanan hidrostatik ini menggeser dominasi tekanan internal sebagai acuan utama dalam mendesain pipa. Dalam mendesain *deepwater pipeline*, kondisi yang harus diperhitungkan adalah saat pipa operasional dan instalasi. Saat kondisi operasional, pipa dihadapkan dengan data lingkungan 100 tahunan yang terjadi pada lokasi dan kedalaman tersebut. Pipa yang didesain pada kondisi operasional juga belum tentu tahan saat diinstalasi akibat dari beban kombinasi antara *bending*, *axial*, dan tekanan eksternal yang terjadi terutama pada area *sagbend* dan *overbend*. Pada tugas akhir ini, pipa 14” akan didesain pada kedalaman 1426 m di Selat Makasar menggunakan *code DNV-OS-F101 for Submarine Pipeline System*. *Pipeline* akan dimodelkan menggunakan *software OrcaFlex* dengan kondisi operasional, instalasi dalam keadaan kosong, dan instalasi *water filled*. Instalasi *water filled* diharapkan dapat mengurangi tekanan hidrostatik yang terjadi pada pipa, sehingga tebal pipa yang dibutuhkan dapat berkurang dan lebih ekonomis. Metode instalasi yang digunakan dalam permodelan adalah *J-Lay*. Diakhir Penelitian, didapatkan tebal pipa yang dibutuhkan pada kondisi operasional, instalasi dan *water filled* adalah 22.2 mm, 28.4 mm, dan 25.4 mm. Didapatkan pula tegangan yang terjadi sepanjang pipa pada kondisi – kondisi tersebut.

Kata Kunci- *deepwater pipeline*, instalasi, operasional, tekanan hidrostatik, *wall thickness*

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

Design and Study of Deepwater Gas Pipeline Based on The Installation and Operational Condition with The J-lay Method

Nama Mahasiswa : Yosua Niko Putra Permata
NRP : 04311440000105
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen pembimbing : Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc.
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRACT

There are many aspect that must be calculated in designing a subsea pipeline system. Usually the dominant load case that the pipeline must endure is from their internal pressure. Along the time, pipelines are installed in deeper water. The deeper the pipeline installed, the higher the hydrostatic pressure. The high hydrostatic pressure replace the internal pressure dominance as the main value in designing pipelines. The conditions that must be analysed in designing deep water pipelines are the operational and the installation condition. Pipelines that are designed at the operational condition not necessarily safe when installed in deepwater, because of the combined load that consist of bending moment, axial force, and also the hydrostatic pressure, especially on the overbend and sagbend area. In this final project, a 14” pipeline will be designed on 1426 m below the surface at the Makasar Strait using DNV-OS-F101 for Submarine Pipeline System code. Pipeline will be modelled using the Orcaflex software. The condition that will be analysed are the operational condition, empty pipe installation, and partially water filled installation. The water filled installation is expected to reduce the hydrostatic pressure that the pipeline must endure, along with that the wall thickness will also reduced. J-lay method will be used in this final assignment. The result from this analysis are the thickness that is needed for the pipeline. at the operational condition, the pipeline needed 22.2 mm, for the empty pipe installation, the pipeline needed 28.4 mm, for the water filled installation, the pipeline needed 25.4 mm. The stress along the pipeline will also be obtained for each condition from this analysis.

Key word- *deepwater pipeline, installasi, operational, hydrostatic pressure, wall thickness*

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis utarakan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan anugrah-Nya penulis dapat menyusun laporan tugas akhir yang berjudul “**Kajian dan Perancangan Gas Pipeline untuk Laut Dalam dengan Metode J-Lay Ditinjau dari Kondisi Instalasi dan Operasi**” ini dengan baik dan dapat selesai tepat pada waktunya.

Tujuan dilakukannya penyusunan laporan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan Program Studi Strata 1 pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selain itu, penulis berharap dengan laporan ini dapat membantu dan memberikan manfaat bagi pihak – pihak yang membutuhkan.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menjadi lebih baik lagi. Semoga laporan ini dapat dikembangkan, dan memicu penelitian – penelitian lain yang dapat berguna di masa yang akan datang. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Surabaya, 5 Juli 2018

Penulis

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Banyak pihak telah berjasa memberikan dukungan bagi penulis selama pengerjaan tugas akhir ini, mulai analisa, sampai penyusunan laporan. Penulis menerima banyak bimbingan, petunjuk, dan bantuan yang tidak sedikit baik secara moral maupun material. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas segala berkat dan anugrah yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kepada Wahyu Djatmiko dan M.K. Rais Trijiarsih selaku kedua orang tua penulis, atas perhatian, semangat, dan doanya untuk kelancaran penulis selama perkuliahan hingga pengerjaan tugas akhir ini.
3. Kepada Bapak Dr. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., selaku dosen pembimbing 1 dan juga dosen wali penulis yang selalu memberikan bimbingan, arahan, semangat, juga nasehat selama proses pengerjaan tugas akhir ini dari awal hingga selesai.
4. Kepada Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc., selaku dosen pembimbing 2 penulis juga selalu memberikan bimbingan, arahan, dan nasehatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kepada Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D., Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D., dan Ir. J. J. Soedjono, M.Sc., selaku dosen penguji penulis saat sidang atas segala kritik dan masukan yang telah diberikan selama pengerjaan tugas akhir ini.
6. Kepada Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Kelautan, FTK-ITS.
7. Kepada Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D., selaku kordinator tugas akhir yang telah mempersiapkan mata kuliah tugas akhir mulai pendaftaran hingga sidang.
8. Teman – teman Teknik Kelautan angkatan 2014, yang selalu menemani dan memberi semangat dan bantuan selama penulis mengerjakan tugas akhir ini dari awal hingga selesai.

9. Teman – teman KMK ITS, yang juga selalu memberi semangat dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

10. Kepada segala pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dan berpengaruh dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga Tuhan membalas semua kebaikan yang telah diperbuat. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
UCAPAN TERIMA KASIH	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 <i>Design Load</i>	8
2.2.1.1 Beban Fungsional	8
2.2.1.2 Beban Lingkungan	10
2.2.1.3 Beban konstruksi, Interferensi, dan <i>Accidental</i>	11
2.2.2 <i>Limit State</i>	12
2.2.3 <i>Wall Thickness</i>	13
2.2.3 <i>Pipeline Design Code</i>	14
2.2.4 <i>Ovalization</i>	15
2.2.5 <i>Pressure Containment Design</i>	17
2.2.6 <i>External Pressure Collapse</i>	18
2.2.7 <i>Buckle Propagation</i>	18
2.2.8 <i>Buckle Arrestor</i>	19

2.2.9 Tekanan Hidrostatik	20
2.2.10 J-Lay Method	21
2.2.11 <i>Laying Design Criteria</i>	22
2.2.11.1 Overbend.....	23
2.2.11.2 Sagbend	23
2.2.13 <i>Local Buckling – Combined Loading Criteria</i>	25
2.2.13.1 Load Controlled Condition	25
2.2.13.2 Displacement Controlled Condition	26
2.2.14 Analisa Statis dan Dinamis	27
2.2.15 Gaya Hidrodinamika	28
2.2.16 <i>Vessel Motion</i>	30
2.2.17 <i>Response Amplitude Operator</i>	30
2.2.18 Perhitungan <i>On-Bottom Stability</i>	31
2.2.19 <i>Catenary Analysis</i>	34
BAB III	38
3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	39
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian	41
3.1 Data yang Digunakan.....	43
3.1.1 Data Pipa.....	43
3.1.2 Data Desain	43
3.1.3 Data Lingkungan.....	44
3.1.4 Data Laybarge	46
BAB IV	49
ANALISA DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Parameter DNV	49
4.2 Perhitungan Tebal Pipa Menurut DNV-OS-F101	52
4.2.1 Perhitungan Tekanan Lokal	52
4.2.2 Perhitungan Tebal Pipa <i>Pressure Containment</i>	53
4.2.3 Perhitungan Tebal Pipa <i>Local Buckling-External Overpressure Only</i> .	53
4.2.4 Perhitungan Tebal Pipa <i>Propagation Buckling</i>	53
4.2.5 <i>Wall thickness</i> yang Dibutuhkan	54

4.3 Perhitungan <i>On-Bottom Stability</i>	54
4.4 Analisa <i>Catenary Analysis</i>	56
4.5 Permodelan <i>Vessel</i>	58
4.6 Analisa Stabilitas <i>Vessel</i>	61
4.7 Analisa <i>Motion Vessel</i>	66
4.8 Permodelan Instalasi	67
4.9 Kondisi Pipa Kosong	68
4.9.1 Analisa Statis Pipa Kosong	68
4.9.2 Analisa Dinamis Pipa Kosong	69
4.10 Kondisi Pipa <i>Water Filled</i>	71
4.11 Perbandingan Pipa Kosong dan Pipa <i>Water Filled</i>	74
BAB V	77
KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
BIODATA PENULIS	

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Perbandingan cost menggunakan <i>pipeline</i> dengan transportasi..	1
Gambar 2.1	<i>Pipeline Buckling</i>	14
Gambar 2.2	Ovalisasi yang Terjadi pada Pipa	16
Gambar 2.3	Tipe – Tipe <i>Buckle Arrestors</i>	19
Gambar 2.4	Ilustrasi Tekanan Hidrostatik.....	20
Gambar 2.5	Metode Instalasi <i>J-Lay</i>	21
Gambar 2.6	Hubungan Momen <i>Bending</i> dengan Kurvatur Pipa	24
Gambar 2.7	Beban dalam analisa dinamis	28
Gambar 2.8	Grafik Kecepatan Gelombang Signifikan	31
Gambar 2.9	Grafik Faktor Kalibrasi	33
Gambar 2.10	Grafik <i>Friction Factor</i> Rekomendasi untuk Clay	33
Gambar 2.11	<i>Model Catenary</i>	34
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	40
Gambar 3.2	<i>Laybarge Deep Blue</i>	47
Gambar 4.1	Model <i>Lay Vessel</i>	59
Gambar 4.2	<i>Principle Dimension</i> dari Vessel.....	59
Gambar 4.3	<i>Vessel</i> Tampak Samping	61
Gambar 4.4	Posisi Tangki Bahan Bakar dan <i>Ballast</i>	63
Gambar 4.5	Model <i>Vessel</i> untuk Anaisa <i>Motion</i>	66
Gambar 4.6	RAO pada 180.....	67
Gambar 4.7	Permodelan Instalasi	67
Gambar 4.8	Perbandingan Tegangan Efektif Fungsional Pipa 22.2 mm.....	75
Gambar 4.9	Perbandingan <i>Von Mises</i>	75

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Tekanan Hidrostatik terhadap Kedalaman	2
Tabel 2.1	Faktor <i>Pressure Test</i>	17
Tabel 2.2	Kriteria untuk <i>Overbend</i>	23
Tabel 3.1	Data Pipa	43
Tabel 3.2	Data <i>Design Pipeline</i>	44
Tabel 3.3	<i>Tidal Level</i>	44
Tabel 3.4	Data <i>Area Manifold</i>	45
Tabel 3.5	Data <i>Area Midpipe</i>	46
Tabel 3.6	Data <i>Area FPU</i>	46
Tabel 4.1	Parameter DNV	49
Tabel 4.2	Klasifikasi Fluida	50
Tabel 4.3	Lokasi <i>Pipeline</i>	51
Tabel 4.4	Klasifikasi Tingkat Keamanan	51
Tabel 4.5	Faktor Resistensi Material.....	52
Tabel 4.6	Faktor Resistensi <i>Safety Class</i>	52
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan <i>Wall Thickness</i>	54
Tabel 4.8	Jenis – jenis Tanah	55
Tabel 4.9	<i>Hydrostatic</i> pada Sarat	60
Tabel 4.10	Tangki Bahan Bakar dan <i>Ballast</i> pada <i>Vessel</i>	62
Tabel 4.11	Analisa Stabilitas <i>Vessel</i>	64
Tabel 4.12	Hidrostatik setelah Analisa <i>Ballast</i>	65
Tabel 4.13	Perbandingan <i>Catenary Analysis</i> dan <i>Orcaflex Static Analysis</i>	68
Tabel 4.14	Beban Fungsional Pipa Kosong	69
Tabel 4.15	Analisa LCC Pipa 22.2 mm	70
Tabel 4.16	Analisa LCC pada 28.4 mm	71
Tabel 4.17	Beban Fungsional Pipa 22.2 mm <i>Water Filled</i>	72
Tabel 4.18	Analisa LCC pada Pipa 22.2 mm <i>Water Filled</i>	73
Tabel 4.19	Analisa LCC pada Pipa 25.4 mm <i>Water Filled</i>	74

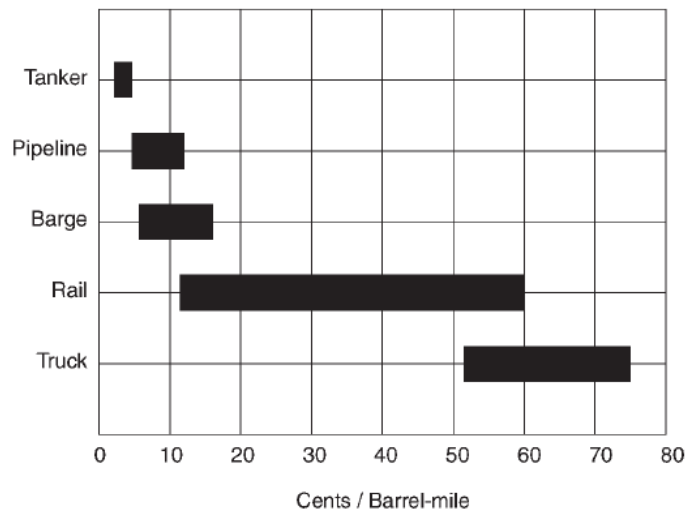
(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pipeline merupakan salah satu cara transportasi migas dari suatu *platform* di *offshore* menuju *onshore*. Minyak atau gas dipompa dari *platform* melewati dasar laut sejauh berkilo-kilo meter menggunakan *pipeline* ini. Untuk mentransportasikan fluida dalam jumlah besar (dalam hal ini minyak dan gas), *pipeline* merupakan mode transportasi yang paling sering digunakan (Liu, 2003). Menurut Henry Liu (2003) keunggulan menggunakan *pipeline* sebagai mode transportasi adalah; lebih ekonomis, penggunaan energi yang rendah, ramah lingkungan, aman untuk manusia, tidak terpengaruh cuaca, otomatis, tingkat keamanan dan keandalannya yang tinggi.



Gambar 1.1 Perbandingan *cost* menggunakan *pipeline* dengan transportasi lain (Kennedy, 1984)

Dapat dilihat pada Gambar 1.1 *pipeline* jauh lebih ekonomis dibandingkan mode transportasi lain. Salah satu kelebihan *pipeline* juga adalah mampu menjangkau pulau – pulau kecil yang memiliki laut dangkal. Laut yang dangkal menyebabkan kapal – kapal besar sulit untuk berlabuh sehingga tanker tidak dapat digunakan. Hal inilah yang

menyebabkan harga minyak dan gas di beberapa daerah di Indonesia menjadi sangat mahal.

Analisa *wall thickness pipeline* merupakan hal penting dan fundamental dalam desain *pipeline* (Bai dan Bai, 2014). *Pipeline* harus tahan terhadap beban dan tekanan baik dalam *pipeline* sendiri maupun dari lingkungan, seperti tekanan internal, tekanan hidrostatik, *bending*, *impact*, dan lainnya. Dengan melakukan desain *wall thickness*, kita dapat mengetahui kemungkinan biaya yang akan dikeluarkan dalam pembelian *pipeline*. Terdapat berbagai *code* yang dapat digunakan untuk mendesain *pipeline*, seperti ASME B31.8, ISO 13523, API RP1111, DNV *Pipeline Rule*, dan ABS *Guide for Building and Classing Subsea Pipeline System*.

Secara konvensional, meskipun dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, secara umum dominasi tekanan berasal dari tekanan internal dari *pipeline* sendiri. Semakin besar tekanan yang dapat ditahan oleh pipa, maka semakin besar pula *flow ratenya*. Namun pada laut dalam, faktor penting yang harus dilihat dan dominan adalah kemampuan pipa dalam menahan tekanan eksternal (Tekanan Hidrostatik) yang sangat tinggi, terutama saat instalasi. William, Bruton, Rodda (2015) dalam jurnalnya menjelaskan bahwa tekanan eksternal akibat hidrostatik akan lebih dominan dibandingkan tekanan internal. Semakin dalam pipa, maka semakin besar pula tekanan hidrostatisnya. Dapat dilihat pada Tabel 1.1 dibawah ini.

Tabel 1.1 Tekanan Hidrostatik terhadap Kedalaman.

<i>Depth of Water</i>			<i>Pressure</i>			
Ft	M	Mm	Pa	Bar	Psi	Psf
1	0.3048	304.8	3063.794	0.030638	0.444366	63.98833
5	1.524	1524	15318.97	0.15319	2.221832	319.9417
10	3.048	3048	30637.94	0.306379	4.443665	639.8833
15	4.572	4572	45956.9	0.459569	6.665497	959.825
20	6.096	6096	61275.87	0.612759	8.88733	1279.767
25	7.62	7620	76594.84	0.765948	11.10916	1599.708

<i>Depth of Water</i>			<i>Pressure</i>			
Ft	M	Mm	Pa	Bar	Psi	Psf
30	9.144	9144	91913.81	0.919138	13.33099	1919.65
35	10.668	10668	107232.8	1.072328	15.55283	2239.592
40	12.192	12192	122551.7	1.225517	17.77466	2559.533
45	13.716	13716	137870.7	1.378707	19.99649	2879.475
50	15.24	15240	153189.7	1.531897	22.21832	3199.417
55	16.764	16764	168508.6	1.685086	24.44016	3519.358
60	18.288	18288	183827.6	1.838276	26.66199	3839.3
65	19.812	19812	199146.6	1.991466	28.88382	4159.242
70	21.336	21336	214465.6	2.144656	31.10565	4479.183
75	22.86	22860	229784.5	2.297845	33.32749	4799.125
80	24.384	24384	245103.5	2.451035	35.54932	5119.066
85	25.908	25908	260422.5	2.604225	37.77115	5439.008
90	27.432	27432	275741.4	2.757414	39.99298	5758.95
95	28.956	28956	291060.4	2.910604	42.21482	6078.891
100	30.48	30480	306379.4	3.063794	44.43665	6398.833

Untuk setiap 33 *feet* (10.06 meter), tekanan hidrostatik meningkat sebesar 14.5 psi (1 bar). Pada tugas akhir ini, *pipeline* akan didesain pada kedalaman 1426 meter, sehingga tekanan hidrostatik yang akan dialami pipa adalah sebesar 143,24 bar. Tekanan yang sangat besar itu mengenai pipa yang diletakkan pada *seabed* yang tidak beraturan. Seperti diketahui, pada kedalaman tersebut penimbunan pipa akan sulit dilakukan. Kondisi – kondisi tersebut yang menyebabkan mudahnya terjadi kegagalan pada pipa. Kegagalan yang sangat mungkin terjadi pada pipa pada laut dalam adalah buckling.

Instalasi juga merupakan faktor penting dalam melakukan desain *pipeline*. Instalasi pipa didefinisikan sebagai proses penempatan pipa pada seabed dari sebuah vessel (Jensen, 2010). Instalasi bergantung pada kondisi lingkungan laut yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan pada pipa, tegangan utama terjadi pada *sagbend* dan

overbend (Soegiono, 2007). *Pipeline* yang didesain dalam kondisi operasional belum tentu tahan pada saat diinstalasi. Masalah mengenai tegangan pipa saat instalasi ini telah diangkat oleh beberapa mahasiswa kelautan sebagai tugas akhirnya. Ramadhan (2014) menganalisis tegangan pada pipa saat instalasi di laut dangkal. Tegangan pipa saat mengalami pengangkatan menggunakan davit lifting pun telah dianalisa oleh Aristanto (2008). Oleh karena itu tebal pipa harus sangat diperhatikan. Dalam tesisnya Hendriyanti (2013) menjelaskan bahwa tebal pipa harus memenuhi kriteria *Load Controlled Condition* (LCC) untuk area *sagbend*, dan *Displacement Controlled Condition* (DCC) untuk area *overbend*.

1.2 Perumusan Masalah

- 1 Berapa *wall thickness* yang dibutuhkan *pipeline* saat kondisi operasional?
- 2 Berapa *wall thickness* yang dibutuhkan dan tegangan yang terjadi pada *pipeline* saat kondisi instalasi dalam keadaan kosong?
- 3 Berapa *wall thickness* yang dibutuhkan dan tegangan yang terjadi pada *pipeline* saat kondisi instalasi dalam keadaan *water filled*?

1.3 Tujuan

- 1 Menghitung *wall thickness* yang dibutuhkan *pipeline* saat kondisi operasional
- 2 Menghitung *wall thickness* yang dibutuhkan dan tegangan yang terjadi pada *pipeline* saat kondisi instalasi dalam keadaan kosong.
- 3 Menghitung *wall thickness* yang dibutuhkan dan tegangan yang terjadi pada *pipeline* saat kondisi instalasi dalam keadaan *water filled*.

1.4 Manfaat

Dari hasil Tugas Akhir ini diharapkan dapat menyajikan hasil analisis dan perhitungan mulai dari *wall thickness* yang dibutuhkan, tegangan yang terjadi pada pipa, dan metode instalasi yang digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk mendesain pipa pada laut dalam ditinjau dari kondisi operasional dan instalasi yang aman dan sesuai *code* dan standard yang berlaku.

1.5 Batasan Masalah

1. Code yang digunakan untuk menghitung wall thickness DNV-OS-F101
2. Kedalaman laut yang digunakan adalah 1426 meter.
3. Lokasi *pipeline* terdapat pada selat Makasar.
4. Diameter luar *pipeline* yang digunakan adalah 14 inchi
5. Vessel menggunakan template dari Moses dengan *Principle Dimension* Global 1201.
6. *Software* yang digunakan untuk permodelan adalah *OrcaFlex*
7. Perhitungan manual menggunakan *Microsoft Excel*
8. Seabed dianggap rata

1.6 Sistematika Penulisan

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan mengenai masalah yang melatar belakangi penelitian ini dilakukan, tujuan yang ingin dicapai, dan manfaat yang akan didapat. Selain itu bab ini juga memberikan batasan – batasan permasalahan dan sistematika laporan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

Bab 2 Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini berisi penjelasan mengenai pustaka yang digunakan serta teori – teori yang mendukung penelitian dilakukan. Pada bab ini juga dicantumkan rumus, code dan standard yang digunakan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai langkah – langkah dan metode yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Bab 4 Analisa Hasil dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan mengenai analisa, perhitungan, dan permodelan yang dilakukan, serta membahas hasil yang didapat dari tugas akhir ini.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini menjelaskan kesimpulan dari analisa dan pembahasan yang telah dilakukan. Pada bab ini juga diberikan saran – saran yang dapat dilakukan untuk penelitian atau tugas akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pemilihan tebal pipa merupakan hal terpenting dan fundamental dalam mendesain pipa bawah laut (Bai dan Bai, 2014). Dua aspek penting yang menentukan tebal dari pipa bawah laut ini adalah tekanan internal dan eksternal. Tekanan – tekanan itu mengakibatkan kegagalan yang berbeda dan harus dipenuhi dalam melakukan desain. Beberapa *code* juga biasanya memberikan kriteria desain berdasarkan tegangan longitudinal maximum dan gabungan, namun tidak umum digunakan untuk analisa tebal pipa (Guo *et al.*, 2014). Menambah tebal pipa biasanya dapat memberikan stabilitas lebih baik seperti saat pipa dipasang *concrete coating*. Hal tersebut tidak ekonomis, kecuali saat pipa akan diinstalasi pada laut dalam karena keberadaan *concrete* dapat mempengaruhi metode instalasi.

Pada laut dalam, kegagalan akibat tekanan hidrostatik menggantikan dominasi tekanan internal sebagai *load case* utama dalam mendesain *pipeline*. Tekanan hidrostatik akan bertambah 1 bar tiap 33 *feet* kedalaman. kegagalan yang terjadi akibat tekanan eksternal ini antara lain *external pressure collapse*, dan *buckle propagation*. Jurnal dari Williams, Burton, dan Rodda (2015) yang berjudul “*Deepwater Pipeline Design Against Collapse Under External Pressure*” memberikan *review* mengenai kegagalan – kegagalan akibat tekanan hidrostatik dan *code* yang digunakan dalam mendesain *pipeline* di laut dalam. Mereka melakukan perbandingan desain untuk mencari *code* yang paling sesuai dalam mendesain pipa laut dalam. *Code* yang dibandingkan adalah API 1111, BS 8010, dan DNV-OS-F101. Dalam paper tersebut mereka menyimpulkan bahwa DNV-OS-F101 adalah *code* yang paling lengkap dan direkomendasikan untuk digunakan pada masa sekarang.

Aspek lain yang perlu diperhatikan dalam mendesain *pipeline* pada laut dalam adalah instalasi. Herdiyanti (2013) pada tesis masternya yang berjudul “*Comparisons Study of*

S-Lay and J-Lay Method for Pipeline installation in Ultra Deep Water” melakukan penelitian mengenai instalasi *pipeline* pada kedalaman 800 sampai 4000 m dengan diameter dan material pipa yang beragam. Dia menjelaskan bahwa *pipeline* saat instalasi terkena beban yang beragam, seperti *tension*, *bending*, dan tekanan hidrostatik yang tinggi berbanding lurus dengan kedalaman. Gerakan dari vessel sendiri pun memberikan beban pada pipa saat instalasi dilakukan. Gulik Anthon Jensen (2010) dalam tesis doctoralnya yang berjudul “*Offshore Pipelaying Dynamic*” menjelaskan mengenai instalasi pipa dengan menggunakan analisa dinamis. *Tension* yang diterima pipa mengatur kurvatur *sagbend* sementara *overbend* diatur oleh radius stinger. Ketebalan pipa harus sangat diperhatikan dalam kondisi instalasi karena adanya bending pada *sagbend* dan *overbend*. Profesor Soegiono (2007) dalam bukunya menjelaskan bahwa tegangan utama pipa saat instalasi terjadi pada area tersebut. Pada area *sagbend*, pipa harus dapat menahan local buckling akibat kombinasi tekanan eksternal dan bending berdasarkan *Load Controlled Condition* (LCC). Sedangkan pada *overbend*, tebal pipa harus dapat memenuhi *Displacement Controlled Condition* (DCC). Kriteria LCC dan DCC dapat dilihat pada DNV-OS-F101.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Design Load

Semua beban yang memiliki kemungkinan berpengaruh terhadap *pipeline* harus diperhitungkan saat melakukan desain. Beban – beban ini dikategorikan menjadi beberapa jenis, yaitu :

2.2.1.1 Beban Fungsional

Beban ini muncul akibat keberadaan dari sistem *pipeline* itu sendiri. Beban- beban yang termasuk dalam beban fungsional adalah:

- Berat (berat *pipeline*, *buoyancy*, konten, *coating*, anoda, *marine growth*)
- Reaksi dari vessel instalasi (*tensioner*, *straightener*, *stinger*, *roller*)
- Tekanan hidrostatik
- Beban hidrodinamis statis saat instalasi

- Reaksi dari tanah pada *sag bend*
- Tekanan internal
- Temperature konten
- *Pre-stressing*
- Reaksi dari komponen (*flange, clamp*, dan lainnya)
- Deformasi dari struktur penyangkang
- *Cover/selimut* (tanah, batu, *mattresses, culverts*)
- Reaksi dari *seabed*
- Deformasi akibat *subsidence* dari tanah
- Deformasi akibat *frost heave*
- Beban akibat *pigging*

Tekanan internal lokal pada titik tertentu pada *pipeline* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (DNV, 2013) :

$$P_{li} = P_{inc} + \rho_{cont} \times g \times (h_{ref} - h_l) \quad (2.1)$$

$$P_{lt} = P_t + \rho_t \times g \times (h_{ref} - h_l) \quad (2.2)$$

$$P_{inc} = P_d + \gamma_{inc} \quad (2.3)$$

dengan,

P_{li} : tekanan insidental lokal (Pa)

P_{inc} : tekanan insidental referensi pada elevasi tertentu (Pa)

ρ_{cont} : densitas konten *pipeline* (kg/m^3)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

h_{ref} : elevasi dari titik referensi (m)

h_l : elevasi dari titik tekanan lokal (m)

P_{lt} : tekanan *system test* lokal (Pa)

Pt : tekanan *system test* referensi pada elevasi tertentu (Pa)

Pd : tekanan desain pada elevasi tertentu (Pa)

γ_{inc} : rasio tekanan insidental dan desain

2.2.1.2 Beban Lingkungan

Beban pada sistem *pipeline* yang berasal dari lingkungan sekitarnya. Beban – beban yang termasuk dalam beban lingkungan adalah sebagai berikut:

- Beban angin
- Beban hidrodinamis:
 - Gaya *drag* dan *lift*
 - Gaya inersia
 - Beban siklis akibat arus yang mengakibatkan *vortex shedding*, *galloping*, dan fenomena instabilitas lainnya
 - Beban *impact* akibat *slamming* dan *slapping*
 - Variasi *buoyancy*
- Beban es
 - Berat dari es
 - Beban *impact* akibat *thaw*
 - Gaya akibat ekspansi
 - Meningkatnya beban angin, gelombang, dan arus
- Gempa

Beban yang diakibatkan gempa, baik langsung maupun tidak langsung, harus diklasifikasikan sebagai beban *accidental* atau lingkungan, tergantung pada kemungkinan terjadinya gempa tersebut.

2.2.1.3 Beban konstruksi, Interferensi, dan *Accidental*

Beban konstruksi adalah beban yang muncul akibat konstruksi dan pengoprasian dari sistem *pipeline* harus diklasifikasikan kedalam beban fungsional dan lingkungan. Yang termasuk dalam beban – beban konstruksi adalah :

- Peletakan pipa
- Beban transportasi pipa
- Pengendalian pipa (*lifting* dan *reeling* pipa)
- Beban statis dan dinamis dari instalasi
- *Pull-in, tie-in, trenching*, dan lainnya
- Pengetesan tekanan
- Aktivitas *commissioning*
- Beban dinamis dari aktivitas *pre-comissioning*

Beban interferensi terjadi pada sistem pipeline yang diakibatkan dari aktifitas pihak ketiga. Aktivitas – aktivitas yang termasuk dalam beban interferensi antara lain *trawl, anchoring, vessel impact*, dan jatuhnya objek.

Beban yang mengenai sebuah sistem *pipeline* dalam kondisi yang tidak direncanakan atau tidak normal dengan kemungkinan terjadinya kurang dari 0.01 dalam setahun disebut beban *accidental*. Beban – beban *accidental* dapat diakibatkan oleh:

- Beban gelombang dan arus yang ekstrim
- *Vessel impact*
- Jatuhnya benda
- Internal *over-pressure*
- Pergerakan *seabed*
- Ledakan
- Kebakaran
- Malfungsi dalam pengoprasian
- Jangkar

2.2.2 Limit State

Limit state adalah kondisi yang harus dipenuhi dalam melakukan desain. Menurut DNV-OS-F101, Limit state pada pipeline dapat dikategorikan sebagai berikut:

- *Serviceability Limit State (SLS)* : *Pipeline* harus dapat melakukan fungsinya ketika terkena beban yang rutin. Berikut merupakan batas yang termasuk dalam SLS:
 - Batas Ovalisasi akibat *bending*.
- *Ultimate Limit State (ULS)* : Jika kriteria pada ULS terlewati, dapat mengakibatkan kegagalan pada pipa. Berikut merupakan batas yang termasuk dalam ULS:
 - *Bursting / Pressure containment*
 - *Collapse*
 - Propagation buckling
 - *Local buckling* akibat beban kombinasi (DCC dan LCC)
 - *Fracture / Collapse plastis / Ductile tearing* dari *defective girth welds*
 - *Ratcheting* (akumulasi deformasi plastis akibat *bending* pada *stinger S-Lay*)
- *Fatigue Limit State (FLS)* : *Pipeline* harus di desain agar dapat tahan menghadapi akumulasi beban siklis selama operasi.
- *Accidental Limit State (ALS)* : *Pipeline* harus bisa menahan beban aksidental seperti benda jatuh, kebakaran, dan *impact* akibat aktivitas *trawling*.

Dalam DNV-OS-F101 format desain yang digunakan dalam melakukan desain sistem pipeline berdasarkan format *Load and Resistance Factor Design (LRFD)*. Prinsip dasar dari format LRFD adalah untuk memverifikasi bahwa efek dari beban desain (L_{sd}), tidak melebihi resistensi desainnya (R_{Rd}). Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$f\left(\left(\frac{L_{sd}}{R_{Rd}}\right) i\right) \leq 1 \quad (2.5)$$

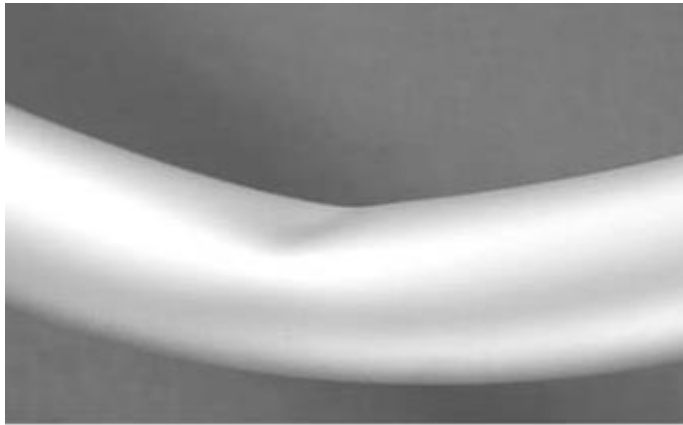
2.2.3 Wall Thickness

Pemilihan *wall thickness* dari *pipeline* merupakan hal yang paling penting dan fundamental dalam desain *subsea pipeline* (Bai dan Bai, 2014). Beban – beban utama yang harus diperhitungkan dalam melakukan desain adalah

- *Internal pressure*
- *External hydrostatic*
- *Longitudinal functional*
- *Bending*
- *External Impact*

Beban yang berbeda mengakibatkan kegagalan yang berbeda pula, oleh karena itu kriteria kegagalan berikut harus dipenuhi dalam melakukan desain *wall thickness* :

- *Burst. Bursting* terjadi akibat *internal pressure*. *Hoop stresses* yang terjadi pada dinding pipa bagian dalam lebih tinggi dibandingkan tegangan ultimate yang mampu ditahan oleh material.
- *Collapse. Collapse* adalah kegagalan yang diakibatkan oleh *external pressure* yang tinggi. Tegangan akibat tekanan tersebut lebih tinggi dibandingkan tegangan yang mampu ditahan oleh material dari *pipeline* tersebut.
- *Buckle. Buckle* adalah peristiwa deformasi yang terjadi pada *pipeline* akibat tekanan seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2.1 *Pipeline Buckling*

Sumber: www.pipping-engineering.com

Wall thickness dari *pipeline* yang dibutuhkan terdiri dari beberapa komponen, dapat ditulis sebagai berikut

$$t_{req} = t_{min} + t_{corr} + t_{fab} \quad (2.6)$$

dengan,

t_{min} = *Wall thickness* minimum yang dibutuhkan, (mm)

t_{corr} = *Corrosion Allowance* (mm)

t_{fab} = Toleransi manufaktur (mm)

2.2.3 Pipeline Design Code

ASME B31 Codes

Merupakan *code* paling tua yang digunakan untuk mendesain *pipeline*. Penggunaan *code* ini awalnya digunakan pada tahun 1926 untuk *pressure piping*. Kemudian diikuti dengan B31.8 untuk transmisi gas dan B31.4 untuk transportasi minyak pada tahun 1950.

ISO 13623

Merupakan *code* untuk *pipeline* lepas pantai maupun darat dan dikembangkan oleh ISO (*International Standards Organization*). Panduan ini mengizinkan penggunaan teknik reliabilitas struktural yang artinya prosedur berdasarkan *Limit State Design* (LSD).

API RP 1111

Merupakan *code* desain berdasarkan konsep *limit state* untuk memberikan tingkat keamanan yang merata. Kegagalan *rupture* dan *bursting* merupakan kondisi desain utama yang harus dipenuhi dalam menentukan diameter pipa, *wall thickness*, dan *grade material*.

DNV Pipeline Rule

Pada *code* ini, *pipeline* diklasifikasikan menjadi beberapa kelas keamanan berdasarkan lokasi, jenis fluida, dan konsekuensi kegagalan. Metode *limit state* juga digunakan pada *code* ini. Pada DNV-OS-F101, semua kegagalan yang terjadi pada *pipeline* diperhitungkan.

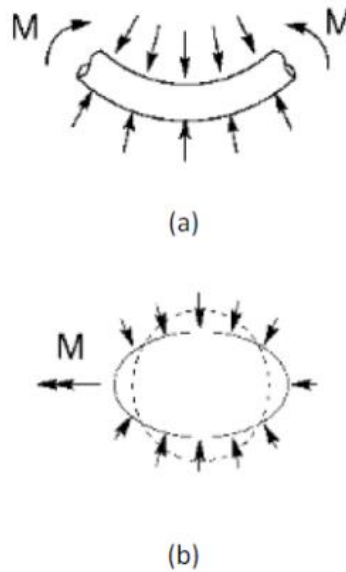
ABS Guide for Building and Classing Subsea Pipeline System.

Merupakan panduan untuk membangun dan mengklasifikasi *pipeline* yang disusun oleh ABS. Panduan ini menggunakan *Working Stress Design* (WSD) untuk mendesain *wall thickness*. Panduan ini mengizinkan penggunaan LSD dan *risk/reliability-based design*.

2.2.4 Ovalization

Ovalisasi adalah kondisi yang merubah bentuk *cross section pipa* menjadi lebih elips. Selama instalasi, pipa terkena *bending*, entah di *regime* elastis maupun plastis. Jika terjadi pada *regime* plastis, *cross section* pipa akan mengalami deformasi permanen. Kondisi ini mengurangi daya tahan pipa terhadap tekanan eksternal yang dapat mengakibatkan *collapse* pada *pipeline*.

Gambar 2.2 berikut ini merupakan fenomena tegangan longitudinal yang terjadi akibat kombinasi *bending* dan tekanan eksternal. Bagian bawah pipa akan mengalami *tension*, sedangkan bagian atas akan mengalami *compression*. hal ini akan mengakibatkan ovalitas pipa.



Gambar 2.2 Ovalisasi yang Terjadi pada Pipa (Kyriakides, 2007)

$$f_0 = \frac{D_{max} - D_{min}}{D} \quad (2.7)$$

dengan,

f_0 : *Out of Roundness* dari pipa akibat *ovality*. tidak boleh < 0.005 (DNV-OS-F101) (%)

D_{max} : Diameter terbesar diukur dari diameter luar atau dalam (mm)

D_{min} : Diameter terkecil diukur dari diameter luar atau dalam (mm)

D : Diameter luar pipa (mm)

Menurut DNV-OS-F101, toleransi *out of roundness* dari fabrikasi dan *bending* tidak boleh lebih dari 3%, kecuali terdapat kondisi tertentu seperti:

- Terjadi pengurangan pada ketahanan momen
- Batas geometrikan telah dicapai, seperti persyaratan pigging.
- Tegangan siklis tambahan yang diakibatkan oleh ovalisasi telah diperhitungkan
- Toleransi pada sistem perbaikan telah dicapai.

2.2.5 Pressure Containment Design

Salah satu persyaratan utama dalam mendesain tebal *pipeline* adalah kemampuan pipa dalam menahan tegangan akibat *pressure containment*. Menurut DNV-OS-F101 *tensile hoop stress* akibat perbedaan tekanan internal dan eksternal yang diterima pipa tidak boleh melebihi nilai yang diijinkan. Berikut merupakan persamaan kriteria *pressure containment* menurut DNV-OS-F101.

$$P_{li} - P_e \leq \text{Min} \left(\frac{P_b(t1)}{\gamma_m \gamma_{sc}}; \frac{P_{lt}}{\alpha_{spt}} - P_e; P_h * \frac{\alpha U}{\alpha_{mpt}} \right) \quad (2.9)$$

$$P_{lt} - P_e \leq \text{Min} \left(\frac{P_b(t1)}{\gamma_m \gamma_{sc}}; P_h \right) \quad (2.10)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa tekanan insidental akan dibatasi dengan kriteria *pressure containment*; *system pressure test*; atau *mill pressure test*.

Tabel 2.1 Faktor *Pressure Test*

Safety Class during Operation	Low	Medium	High
α_{mpt}	1	1.088	1.251
α_{spt}	1.03	1.05	1.05

Sumber : DNV-OS-F101

Untuk resistensi *pressure containment* $P_b(t)$ dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_b(t) = \frac{2t}{D-t} * fcb * \frac{2}{\sqrt{3}} \quad (2.11)$$

dengan,

$$fcb = \text{Min} \left(f_y; \frac{f_u}{1.15} \right) \quad (2.12)$$

2.2.6 External Pressure Collapse

Selain tekanan internal, *pipeline* juga harus didesain mampu tahan menghadapi tekanan eksternal terutama pada laut dalam. Pada laut dalam, tekanan eksternal lebih menjadi acuan dalam menentukan tebal pipa akibat tekanan hidrostatik yang tinggi. Berikut merupakan kriteria kegagalan akibat tekanan eksternal menurut DNV-OS-F101.

$$(P_c(t) - P_{el}(t)) * (P_c(t)^2 - P_p(t)^2) = P_c(t) * P_{el}(t) * P_p(t) f_0 * \frac{D}{t} \quad (2.13)$$

dengan,

$$P_{el}(t) = 2 * E * \frac{\left(\frac{t}{d}\right)^3}{1 - \nu^2} \quad (2.14)$$

$$P_p(t) = f_y * \alpha_{fab} * \frac{2 * t}{D} \quad (2.15)$$

$$f_0 = \frac{D_{max} - D_{min}}{D} \quad (2.16)$$

2.2.7 Buckle Propagation

Buckle propagation terjadi akibat *local buckling* baik saat operasi maupun instalasi, juga karena korosi pada dinding pipa. *Propagation buckling* ini dapat dihindari jika desain dari *pipeline* cukup kuat untuk menahan *local buckling* atau dengan memasang *buckle arrestors*. Menurut DNV-OS-F101 kriteria *propagation buckling* adalah sebagai berikut

$$P_e - P_{min} \leq \frac{P_{pr}}{\gamma_m \gamma_{sc}} \quad (2.17)$$

dengan,

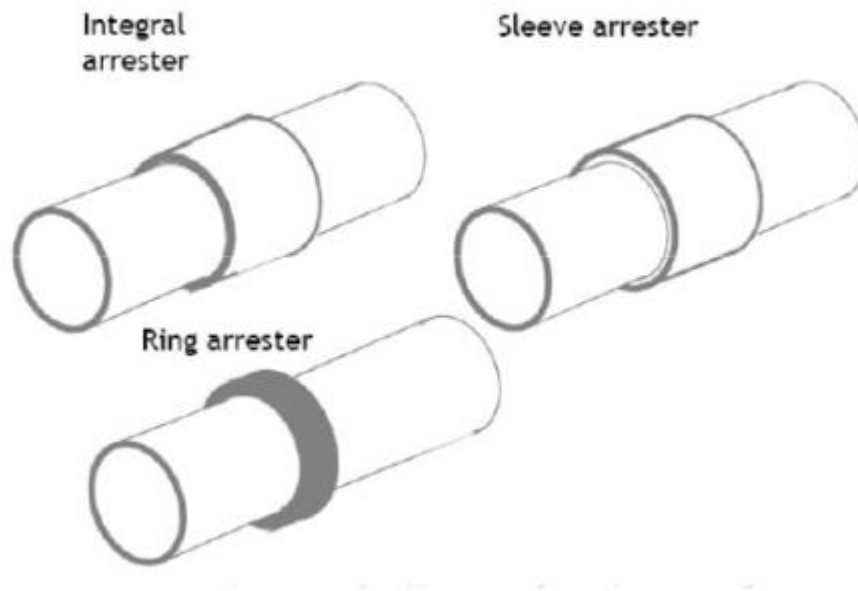
$$P_{pr} = 35 * f_y * \alpha_{fab} * \left(\frac{t^2}{D}\right)^{2.5} \quad (2.18)$$

$$15 < \frac{D}{t^2} < 45$$

Tekanan *external collapse propagation* lebih kecil dibandingkan tekanan *external collapse* yang menyebabkan *local collapse* terjadi, biasanya hanya 15 – 20% (Omrani *et al*, 2009). Meningkatkan tebal pipa untuk memenuhi kriteria *propagation buckling* sangat tidak ekonomis. Probabilitas terjadinya *propagation buckling* pada pipa dapat dikurangi dengan memasang *buckle arrestors*.

2.2.8 Buckle Arrestor

Buckle arrestor dipasang dengan interval tertentu di sepanjang *pipeline*. Dengan dipasang *buckle arrestor* ini kerusakan akibat *propagation buckling* dapat dikurangi. *Buckle arrestor* terdapat beberapa tipe seperti Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.3 Tipe – Tipe *Buckle Arrestors* (Kyriakides, 2007)

Menurut DNV-OS-F101, *integral buckle arrestors* dapat di desain dengan persamaan berikut

$$Pe \leq \frac{Px}{1.1 \gamma_m \gamma_{sc}} \quad (2.19)$$

dengan,

$$Px = Ppr + (Ppr.BA - Ppr) * \left(1 - EXP \left(-20 \left(\frac{t2 * LBA}{D^2} \right) \right) \right) \quad (2.20)$$

$Ppr.BA$: Kapasitas *propagation buckle* dari *infinite arrestor* (Pa)

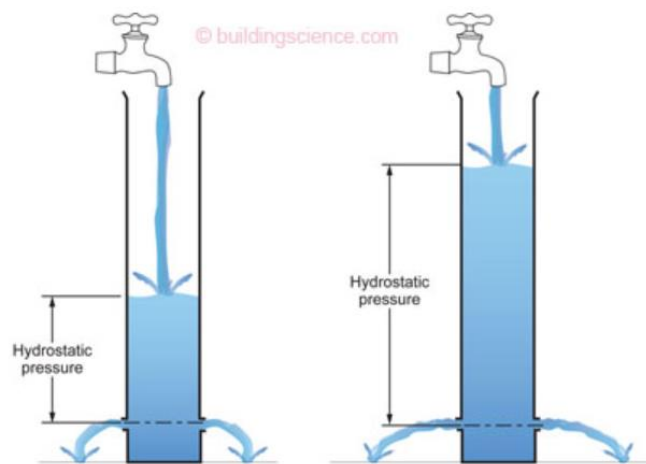
Ppr : Tekanan propagasi (Pa)

LBA : Panjang *bukle arrestor* (m)

$t2$: tebal pipa karakteristik (mm)

2.2.9 Tekanan Hidrostatik

Ketika sebuah permukaan tenggelam dalam sebuah fluida, gaya – gaya akan bekerja pada permukaan karena fluida tersebut (Munson *et al*, 2003). Benda tersebut menerima gaya – gaya yang tegak lurus dengan permukaan karena tidak adanya tegangan – tegangan geser. Tekanan Hidrostatik adalah tekanan yang diakibatkan oleh gaya yang ada pada fluida, dalam hal ini air laut, terhadap suatu luas bidang tekan pada kedalaman tertentu. besarnya tekanan ini bergantung pada ketinggian fluida, masa jenis fluida, dan percepatan gravitasi. Dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut sebagai ilustrasi tekanan hidrostatik.



Gambar 2.4 Ilustrasi Tekanan Hidrostatik (buildingscience.com)

Tekanan hidrostatik ini dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \rho g h \quad (2.21)$$

dengan,

P : tekanan hidrostatik (Pa)

ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)

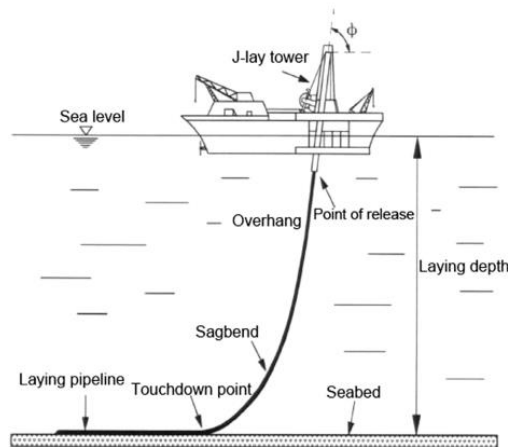
g : percepatan gravitasi (m/s^2)

h : kedalaman (m)

Tekanan hidrostatik ini merupakan aspek penting yang harus diperhatikan dalam mendesain pipeline laut dalam. J. Koto, Abdul Khair, dan Ali Selamat (2015) dalam jurnalnya yang berjudul “Ultra Deep Water Subse Pipeline Design and Assessment”, selama instalasi, pipeline terkena tekanan eksternal (hidrostatik) yang dapat mengakibatkan collapse pada struktur.

2.2.10 J-Lay Method

Metode ini lahir akibat semakin banyaknya penggunaan *pipeline* pada *deepwater* dan *ultra deepwater*. Metode ini pertama kali digunakan pada tahun 1980an kemudian dikembangkan untuk laut yang lebih dalam. Dinamakan metode *J-Lay* karena konfigurasi pipa saat instalasi dilakukan menyerupai bentuk huruf “J” (Bai dan Bai, 2014) dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2. 5 Metode Instalasi *J-Lay* (Bai dan Bai, 2014)

Pada metode ini, kurvatur pada area *overbend* dapat dikurangi. *Tension horizontal* yang diperlukan juga lebih kecil dibandingkan *S-Lay*, gunanya adalah untuk menahan berat dari pipa tenggelam, mengontrol tegangan, dan menjaga kurvatur yang terjadi pada area *sagbend*.

Karena instalasinya yang nyaris vertikal, metode ini tidak memungkinkan stasiun pengelasan dan NDT lebih dari satu. Untuk mengatasi hal ini, *section* pipa lebih panjang digunakan untuk meningkatkan efisiensi. Menurut Hendryanti (2013) pada tesisnya, biasanya empat sampai enam pipa dilas di darat. setelah dilakukan inspeksi, *coating* dan pengelasan, sambungan pipa tersebut dapat diturunkan ke dasar laut. hal inilah yang menyebabkan laju produksi metode ini lambat. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan metode *J-Lay*

Kelebihan

- *Tension* yang dibutuhkan dapat dikurangi karena pipa meninggalkan kapal dengan posisi hampir vertikal. *tension* hanya digunakan untuk menjaga *bending* yang terjadi pada *sagbend* agar sesuai dengan kriteria.
- Tidak ada *overbend*, sehingga kriteria *overbend* tidak perlu digunakan.
- Metode ini lebih akurat dibanding *S-lay*, karena lokasi touchdown point lebih dekat dengan vessel.

Kekurangan

- Metode ini tidak memungkinkan adanya lebih dari satu stasiun pengelasan dan NDT, sehingga proses pengelasan lebih lambat dibanding *S-Lay*.
- Metode ini tidak cocok digunakan untuk laut dangkal, karena *bending* pipa di dasar laut akan terlalu tajam dan mengakibatkan kerusakan *pipeline*.
- Barge harus memiliki kapabilitas *dynamic positioning*.

2.2.11 Laying Design Criteria

Instalasi *pipeline* harus dilakukan menurut DNV-OS-F101 untuk *Submarine Pipeline System*. Kegagalan yang sering terjadi pada saat instalasi *pipeline* adalah *local*

buckling. Berikut adalah persyaratan yang harus dipenuhi pada area *ovebend* dan *sagbend*.

2.2.11.1 Overbend

Menurut DNV-OS-F101, untuk pembebanan statis, regangan pada area *overbend* tidak boleh melebihi kriteria I pada tabel berikut. Regangan tersebut harus memperhitungkan efek dari *bending*, beban axial, dan beban *roller*. Efek akibat variasi *stiffness* tidak diperhitungkan. Untuk pembebanan statis dan dinamis, regangan pada area *overbend* tidak boleh melebihi kriteria II pada tabel. regangan harus memperhitungkan semua efek, termasuk variasi *stiffness* akibat *field joint* atau *buckle arrestor*.

Tabel 2.2 Kriteria untuk *Overbend*

Simplified Criteria untuk Overbend				
Criterion	X70	X65	X60	X52
I	0.270%	0.250%	0.230%	0.205%
II	0.325%	0.305%	0.290%	0.260%

Sumber : DNV-OS-F101

2.2.11.2 Sagbend

Untuk kombinasi dari pembebanan statis dan dinamis, persamaan berikut harus memenuhi pada area *sagbend* dan ujung stinger:

$$\sigma_{eq} \leq 0.87f_y \quad (2.22)$$

dengan,

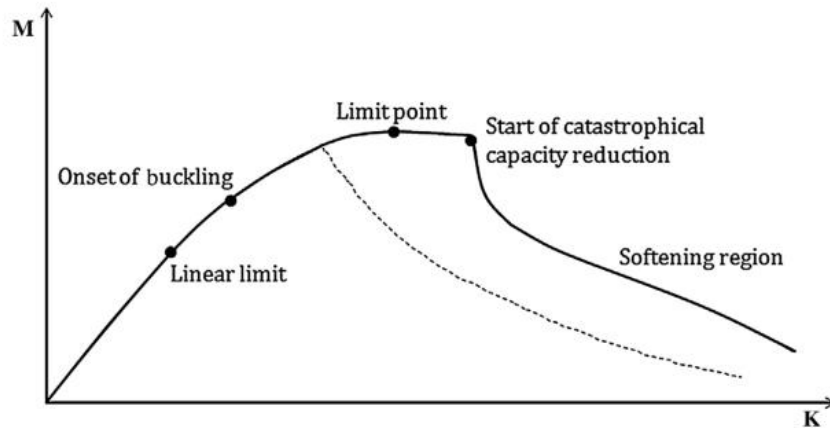
f_y : yield stress (psi)

σ_{eq} : tegangan ekuivalen (psi)

Efek akibat variasi *stiffness* atau regangan residual dari *overbend* dapat diabaikan. untuk instalasi pada laut dalam, dimana *collapse* adalah masalah utama, *sagbend* harus memenuhi persyaratan kriteria *buckling* pada DNV-OS-F101 Section 5 D600. *Pipeline* pada area *sagbend* harus didesain berdasarkan *load controlled condition criteria*.

2.2.12 Bending Moment Capacity

Momen *bending* dari pipa, proporsional dengan kurvatur pipa (Bai dan Bai, 2014). Gambar berikut menunjukkan hubungan antara momen *bending* dengan kurvatur



Gambar 2.6 Hubungan Momen *Bending* dengan Kurvatur Pipa (Bai dan Bai, 2014)

Gambar tersebut mengilustrasikan sebuah pipa dengan D/t yang rendah dikenai beban dimana tekanan dan gaya longitudinal konstan sementara kurvatur dinaikan. Grafik hubungan momen-kurvatur memiliki beberapa point yang signifikan. Setelah *linear point* dicapai, pipa tidak lagi dapat kembali ke bentuk aslinya. Apabila kurvatur dinaikan, pipa akan menginisiasi *onset local buckling*. Batas dari kemampuan *bending* pipa terdapat pada *limit point*, setelah itu pipa akan mengalami *collapse* apabila kurvatur terus dinaikan. Hubungan momen dengan kurvatur ini memberikan informasi yang dibutuhkan untuk mendesain pipa melawan kegagalan akibat *bending*.

Batas momen *bending* dari pipa baja memiliki banyak parameter. Parameter utama menurut Bai (2014) dalam bukunya adalah:

- Rasio diameter dengan tebal pipa
- Hubungan tegangan – regangan material
- Ketidaksempurnaan material
- Pengelasan

- *Out-of-Roundness*
- Penurunan tebal pipa, seperti akibat korosi
- *Local stress concentrations*
- Temperatur

2.2.13 Local Buckling – Combined Loading Criteria

Untuk instalasi laut dalam, *local buckling* adalah kegagalan yang sangat potensial terjadi pada *pipeline* saat *laying* dilakukan. Menurut DNV-OS-F101 terdapat dua kondisi yang harus diperhitungkan, yaitu *Load Controlled Condition* (LCC) dan *Displacement Controlled Condition* (DCC).

2.2.13.1 Load Controlled Condition

Menurut DNV-OS-F101, pipa yang terkena *bending*, gaya aksial, dan tekanan internal tinggi harus memenuhi persamaan berikut:

$$\left(\gamma_m \gamma_{sc} \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p(t_2)} + \left(\frac{\gamma_m \gamma_{sc} S_{sd}(p_i)}{\alpha_c S_p(t_2)} \right)^2 \right)^2 + \left(\alpha_p \frac{p_i - p_e}{\alpha_c p_b(t_2)} \right) \leq 1 \quad (2.23)$$

Dapat diaplikasikan pada

$$15 \leq \frac{D}{t_2} \leq 45, p_i > p_e, \frac{|S_{sd}|}{S_p} < 0.4$$

dengan,

M_{sd} : *design moment*

S_{sd} : gaya aksial efektif desain

p_i : tekanan internal

p_e : tekanan eksternal

p_b : tekanan *burst*

S_p dan M_p merupakan kapasitas plastis pipa, persamaanya adalah:

$$S_p(t) = f_y \pi (D - t)t \quad (2.24)$$

$$M_p(t) = f_y (D - t)^2 t \quad (2.25)$$

$$\alpha_c = (1 - \beta) + \beta \frac{f_u}{f_y} \quad (2.26)$$

$$\alpha_p = \begin{cases} 1 - \beta & , \frac{P_i - P_e}{P_b} < \frac{2}{3} \\ 1 - 3\beta \left(1 - \frac{P_i - P_e}{P_b}\right) & , \frac{P_i - P_e}{P_b} \geq \frac{2}{3} \end{cases} \quad (2.27)$$

$$\beta = \frac{60 - \frac{D}{t_2}}{90} \quad (2.28)$$

α_c adalah *flow stress parameter* dan α_p adalah efek dari rasio D/t_2

Sedangkan pipa yang terkena *bending*, gaya aksial dan tekanan eksternal yang tinggi harus memenuhi kriteria berikut

$$\left(\gamma_m \gamma_{sc} \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p(t_2)} + \left(\frac{\gamma_m \gamma_{sc} S_{sd}(p_i)}{\alpha_c S_p(t_2)} \right)^2 \right)^2 + \left(\alpha_p \frac{p_e - p_{min}}{p_c(t_2)} \right) \leq 1 \quad (2.29)$$

$$15 \leq \frac{D}{t_2} \leq 45, P_i < P_e, \frac{|S_{sd}|}{S_p} < 0.4 \quad (2.30)$$

dengan,

P_{min} : tekanan internal minimum pada pipa. biasanya diisi 0 untuk instalasi, kecuali *pipeline* berisi air saat instalasi

P_c : tekanan *collapse* karakteristik

2.2.13.2 Displacement Controlled Condition

Menurut DNV-OS-F101, pipa yang terkena regangan kompresif longitudinal (*bending* dan gaya aksial) dan tekanan internal yang tinggi harus didesain memenuhi kriteria berikut

$$\varepsilon_{sd} \leq \varepsilon_{Rd} = \frac{\varepsilon_c(t_2, P_{min} - P_e)}{\gamma \varepsilon} \quad (2.31)$$

$$\frac{D}{t_2} \leq 45, P_i \geq P_e \quad (2.32)$$

dengan,

ϵ_{sd} : regangan kompresif desain

$$\epsilon_c(t_2, P_{min} - P_e) = 0.78 \left(\frac{t}{D} - 0.01 \right) \left(1 + 5.75 \frac{P_{min} - P_e}{P_b(t)} \right) \alpha h^{-1.5} \alpha_{gw} \quad (2.33)$$

P_{min} : tekanan internal minimum yang dapat ditahan

γ_ϵ : faktor resistensi regangan

αh : $\left(\frac{R_{t0.5}}{R_m} \right)_{max}$

α_{gw} : faktor *girth weld*, dapat dilihat di DNV-OS-F101 Section 13

Sedangkan untuk pipa yang terkena regangan kompresif longitudinal (*bending* dan gaya aksial) dan tekanan eksternal yang tinggi, harus memenuhi kriteria berikut:

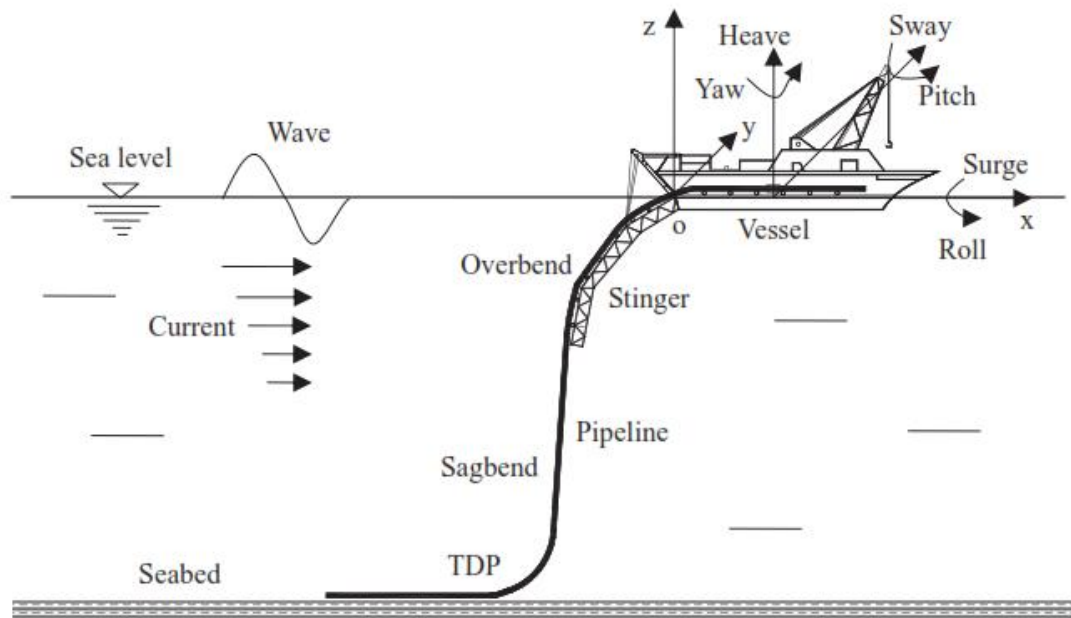
$$\left(\frac{\frac{\epsilon_{sd}}{\epsilon_c(t_2, 0)}}{\gamma_\epsilon} \right)^{0.8} + \left(\frac{\frac{P_e - P_{min}}{P_c(t_2)}}{\gamma_m \gamma_{sc}} \right) \leq 1 \quad (2.34)$$

$$\frac{D}{t_2} \leq 45, P_{min} < P_e$$

2.2.14 Analisa Statis dan Dinamis

Analisa instalasi pipeline dapat dilakukan dengan dua acara, yaitu statis dan dinamis. Analisa statis pipeline memberikan pendekatan yang berguna untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada pipa akibat dari konfigurasi tanpa memperhitungkan gelombang, arus, dan interaksi dari *vessel* (Senthil, 2015). Beban – beban utama yang mengakibatkan tegangan pada pipa adalah tension, bending moment, dan tekanan hidrostatik. Analisa statis memberikan penjelasan mengenai perilaku pada pipa.

Fakta yang terjadi, tegangan pada pipa selama proses instalasi juga dipengaruhi oleh efek dinamis dari gelombang dan gerakan *vessel* (Senthil, 2015). Pengaruh dari beban dinamis tersebut dapat berbahaya bagi keamanan pipa selama proses instalasi berlangsung. Gambar 2.8 berikut mengilustrasikan mengenai beban – beban yang terjadi selama proses instalasi.



Gambar 2.7 Beban dalam analisa dinamis (Gong, 2014)

Analisa dinamis lebih sering digunakan untuk operasi laut dalam karena biaya yang tinggi dan menghabiskan banyak waktu, namun lebih baik digunakan karena memberikan kondisi lingkungan yang aman untuk melakukan instalasi pipa.

2.2.15 Gaya Hidrodinamika

Saat operasi maupun instalasi, pipa akan terkena gaya hidrodinamika. Gaya ini diakibatkan oleh gelombang acak dan arus laut. Gelombang acak biasanya dideskripsikan menggunakan spektrum yang mengindikasikan distribusi dari energi gelombang terhadap frekuensinya (Xu, 2014). Beberapa metode spectra seperti *JONSWAP*, *ISSC*, *Ochi-Hubble*, *Torsethaugen* digunakan untuk mewakili keadaan laut yang sebenarnya. representasi dari keadaan laut ini sangat penting untuk menghitung respon dari *vessel*.

Teori gelombang linear digunakan untuk memprediksi kecepatan dan percepatan gelombang. Secara umum, arus laut dilihat sebagai aliran dua dimensi pada profil vertical, sehingga gaya hidrodinamika akibat gelombang dan arus pada pipeline dihitung menggunakan persamaan *morison* sebagai berikut:

$$F_h = \frac{1}{2} \rho_w C_D d u |u| + \rho_w C_M A \alpha \quad (2.35)$$

dengan,

- F_h : Gaya Hidrodinamika
 ρ_w : Densitas fluida
 C_d : Koefisien drag
 C_M : Koefisien Inersia
 d : diameter silinder
 A : Lua penampang silinder
 u : Kecepatan fluida
 α : Percepatan fluida

Koefisien massa (C_m) dan drag dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti angka Reynold, angka *Keulgean – Carpenter*, angka arus relative, dan rasio kekasaran permukaan, juga harus ditentukan secara empiris (Faltinsen, 1990). Untuk silinder, koefisien massa (C_m) adalah 1, maka:

$$C_M = C_m + 1 \quad (2.36)$$

Pada kasusdimana fluida dan silinder bergerak, seperti saat pipa mengalami instalasi, persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_h = \frac{1}{2} \rho_w C_d d u_r |u_r| + \rho_w C_m A a_r + \rho A a_c \quad (2.37)$$

dengan,

$$u_r = u - u_c$$

- u : Kecepatan pipa
 u_c : Kecepatan arus laut

2.2.16 Vessel Motion

Mengatur posisi dan pergerakan dari *pipelay vessel* merupakan hal yang penting dalam keberlangsungan instalasi pipa. jika *lay vessel* bergeser atau mengalami rotasi, pipa akan mengalami bending yang tinggi, terutama pada titik pipa meninggalkan vessel. *Lay vessel* pada awalnya menggunakan sistem *mooring*. Seiring berjalannya waktu, laying pipa menjadi semakin kompleks dan berkembang, maka munculah suatu cara untuk menjaga agar lay vessel tetap dalam posisi yaitu dengan menggunakan sistem dynamic positioning. Sistem ini banyak digunakan pada laut dalam

Vessel memiliki 6 derajat kebebasan, tiga translasi (*surge, sway, heave*) dan tiga rotasi (*pitch, roll, yaw*) dapat dilihat pada Gambar. Pergerakan kapal akibat gelombang dapat definisikan menggunakan *Response Amplitude Operator* (RAO). Tiap RAO mengandung angka yang mendefinisikan respon dari vessel pada salah satu derajat kebebasan dan salah satu arah gelombang dan periode (Xu, 2014). Oleh karena itu data RAO memiliki enam pasang amplitudo dan fase untuk setiap arah gelombang dan periode.

2.2.17 Response Amplitude Operator

Respon pada struktur *offshore* (baik *fixed* maupun terapung) akibat gelombang regular dalam tiap – tiap frekuensi. Secara umum, Nilai amplitudo pada suatu respon struktur hampir sama dengan amplitudo gelombang. Beban gelombang harus di transformasi terlebih dahulu menjadi respon pada struktur untuk dapat diolah lebih lanjut.

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. berikut adalah persamaan untuk mencari RAO (Chakrabarti, 1987):

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.38)$$

dengan,

X_p : Amplitudo Struktur

η : Amplitudo Gelombang

Sedangkan amplitudo struktur (respon struktur) dapat dirumuskan:

$$Xp = \left(\frac{Xo}{\sqrt{((1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2)}} \right) \cos(\omega t - a) \quad (2.39)$$

dengan,

Xo : Fo/K

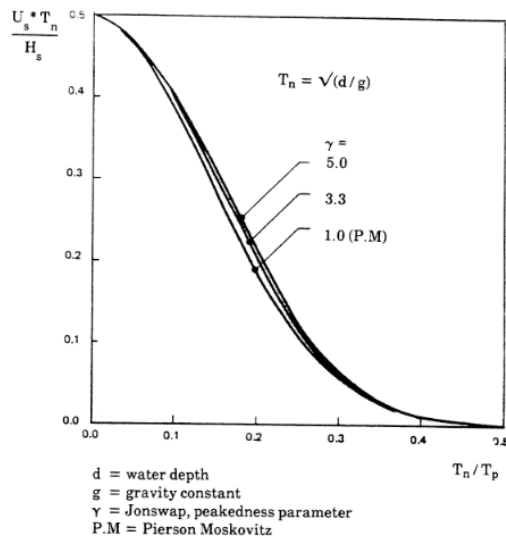
r : ω/ω_n

$\tan \alpha$: $2\zeta r/(1-r)$

2.2.18 Perhitungan *On-Bottom Stability*

Perhitungan ini diperlukan untuk mencari tahu berat minimum yang diperlukan agar pipa stabil dalam menghadapi beban – beban lingkungan. Pada Tugas Akhir ini metode yang digunakan adalah *simplified static stability analysis* dari DNV RP-E305.

Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mencari terlebih dahulu kecepatan partikel gelombang (U_s) menggunakan grafik berikut.



Gambar 2.8 Grafik Kecepatan Gelombang Signifikan (DNV-RP-E305, 1988)

Tn merupakan periode parameter, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$Tn = \frac{\sqrt{d}}{g} \quad (2.40)$$

dengan,

d : kedalaman laut (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

kemudian menggunakan persamaan berikut untuk mendapatkan kecepatan rata – rata yang terjadi di sepanjang pipa.

$$\frac{Ud}{Ur} = \frac{1}{\ln\left(\frac{zn}{z0}+1\right)} \left(\left(1 + \frac{z0}{OD}\right) \ln\left(\frac{OD}{z0} + 1\right) - 1 \right) \quad (2.41)$$

Gaya – gaya yang mempengaruhi kestabilan pipa di dasar laut adalah gaya *lift*, *drag*, dan inersia. Ketiganya perlu diketahui untuk dapat mengetahui berat pipa minimum yang dibutuhkan pipa agar stabil. persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Flift = \frac{1}{2} \rho_{air} OD Cl (Us \cos \theta + Ud)^2 \quad (2.42)$$

$$Fdrag = \frac{1}{2} \rho_{air} OD Cd |Us \cos \theta + Ud| (Us \cos \theta + Ud) \quad (2.43)$$

$$Finertia = \frac{\pi OD^2}{4} \rho_{air} Cm As \sin \theta \quad (2.44)$$

Langkah terakhir adalah menghitung berat minimum pipa. Persamaan yang digunakan pada metode ini adalah sebagai berikut.

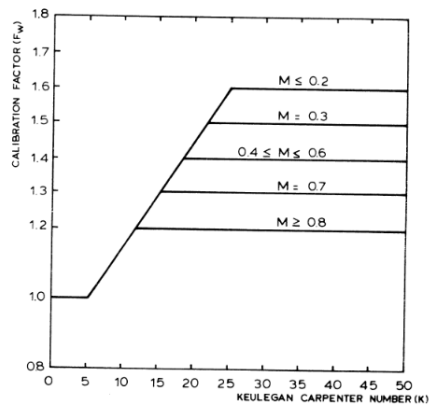
$$Ws = \frac{Fd + Fi + \mu Fl}{\mu} Fw \quad (2.45)$$

dengan,

Fw : faktor kalibrasi

μ : faktor friksi

Faktor kalibrasi dapat dicari dengan menggunakan grafik berikut



Gambar 2.9 Grafik Faktor Kalibrasi (DNV-RP-E305, 1988)

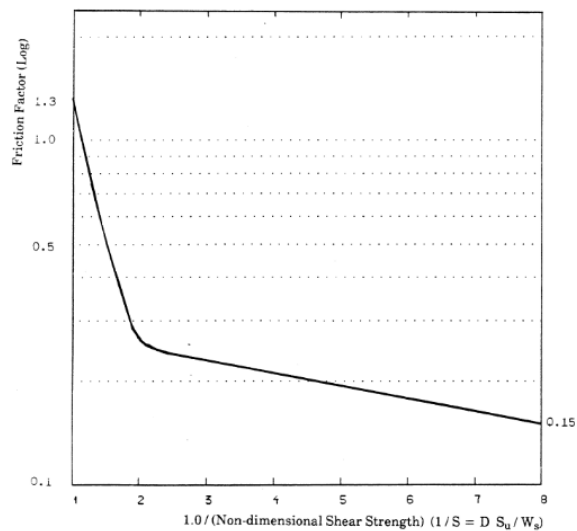
Angka *Keulgan Carpenter* dapat dicari dengan persamaan berikut

$$K = U_s \frac{T_p}{OD} \quad (2.46)$$

sedangkan rasio kecepatan arus (M) dapat dicari dengan persamaan berikut

$$M = \frac{U_d}{U_s} \quad (2.47)$$

Untuk faktor friksi tanah (μ) dapat dicari dengan grafik berikut

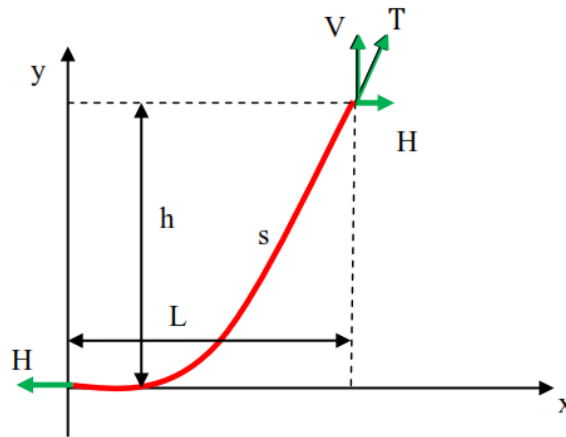


Gambar 2.10 Grafik *Friction Factor* Rekomendasi untuk Clay (DNV-RP-E305, 1988)

2.2.19 Catenary Analysis

Sebelum menentukan *lay vessel*, perlu analisa terlebih dahulu tegangan dan regangan pada pipa untuk menentukan kapasitas dari *lay vessel* yang dibutuhkan (Jensen, 2010).

Catenary analysis juga berfungsi sebagai validasi dari permodelan instalasi pipa.



Gambar 2.11 Model *Catenary* (Gudmenstad, 2012)

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{V}{H}$$

$$V = H \frac{dy}{dx}$$

$$\frac{dV}{dx} = H \frac{d^2y}{dx^2}$$

dan

$$dV = ws \, ds$$

$$\frac{dV}{dx} = ws \frac{ds}{dx}$$

kemudian,

$$\frac{dV}{dx} = ws \frac{ds}{dx} = H \frac{d^2y}{dx^2}$$

$$ws \sqrt{dx^2 + dy^2} = H \frac{d^2y}{dx^2} dx$$

$$ws dx \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = H \frac{d^2y}{dx^2} dx$$

$$\frac{ws}{H} dx = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} dx$$

$$\frac{ws}{H} dx = \frac{\frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{dx}\right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} dx$$

$$\int_0^x \frac{ws}{H} dx = \int_0^{y'} \frac{d(y')}{\sqrt{1 + (y')^2}} dx$$

$$\frac{ws}{H} x = \operatorname{arcsinh}(y)$$

$$y = \sinh\left(\frac{ws}{H} x\right) \quad (2.40)$$

Maka persamaan dari catenary adalah sebagai berikut

$$y = \frac{H}{ws} \left(\cosh \frac{ws}{H} x - 1 \right) \quad (2.41)$$

Jika $x = L$ dan $y = \text{water depth } h$ kita dapat:

$$h = \frac{H}{ws} \left(\cosh \frac{ws}{H} L - 1 \right)$$

$$\frac{h ws}{H} + 1 = \cosh\left(\frac{ws}{H} L\right)$$

$$\frac{ws}{H}L = \operatorname{arccosh}\left(\frac{hws}{H} + 1\right)$$

Sehingga,

$$L = \frac{H}{ws} \operatorname{arccosh}\left(\frac{hws}{H} + 1\right) \quad (2.42)$$

Sebelum ini telah diketahui

$$ws \frac{ds}{dx} = H \frac{d^2}{dx^2}$$

$$\frac{ds}{dx} = \frac{H}{ws} \frac{d^2y}{dx^2}$$

$$s = \frac{H}{ws} \left(\sinh \frac{ws}{H} L \right) \quad (2.43)$$

dengan menggunakan persamaan dan , diapatkan persamaan berikut:

$$s^2 - h^2 = \left(\frac{H}{ws} \right)^2 \left(\sinh^2 \left(\frac{ws}{H} L \right) - \cosh^2 \left(\frac{ws}{H} L \right) - 1 + 2 \cosh \left(\frac{ws}{H} L \right) \right)$$

diketahui bahwa:

$$\sinh^2 a - \cosh^2 a = -1$$

maka,

$$\frac{ws}{2h} (s^2 - h^2) = \frac{ws}{2h} 2 \frac{H}{ws} h$$

Sehingga persamaan untuk tegangan horizontal adalah :

$$H = \frac{ws}{2h} (s^2 - h^2) \quad (2.44)$$

Radius dari bending pipa (R) juga dapat dihitung dengan persamaan berikut (Mousselli,1981):

$$R = \frac{ED}{2\sigma DF} \quad (2.45)$$

dengan,

σ : specified yield stress minimum (Pa)

DF : Faktor design

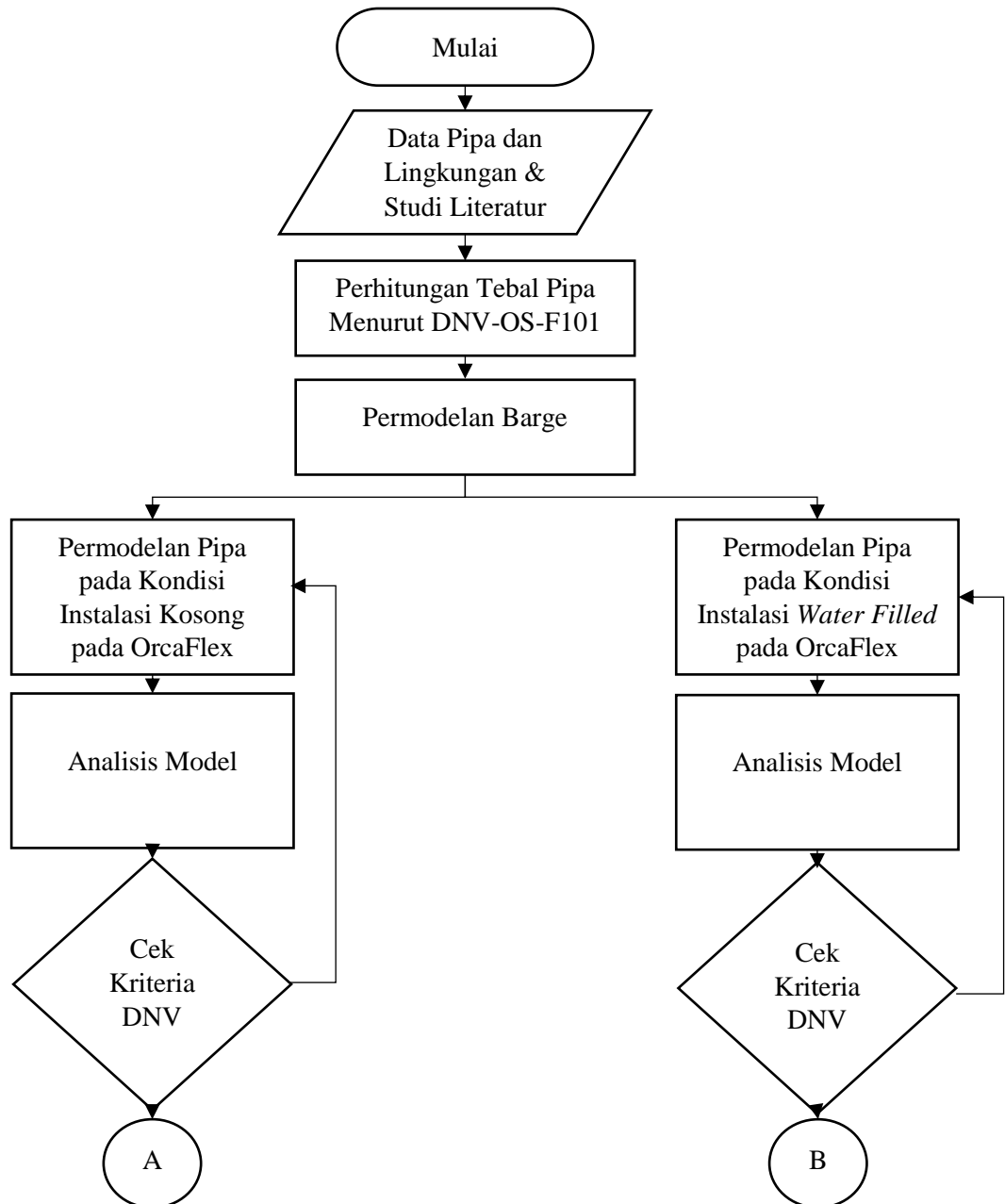
(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

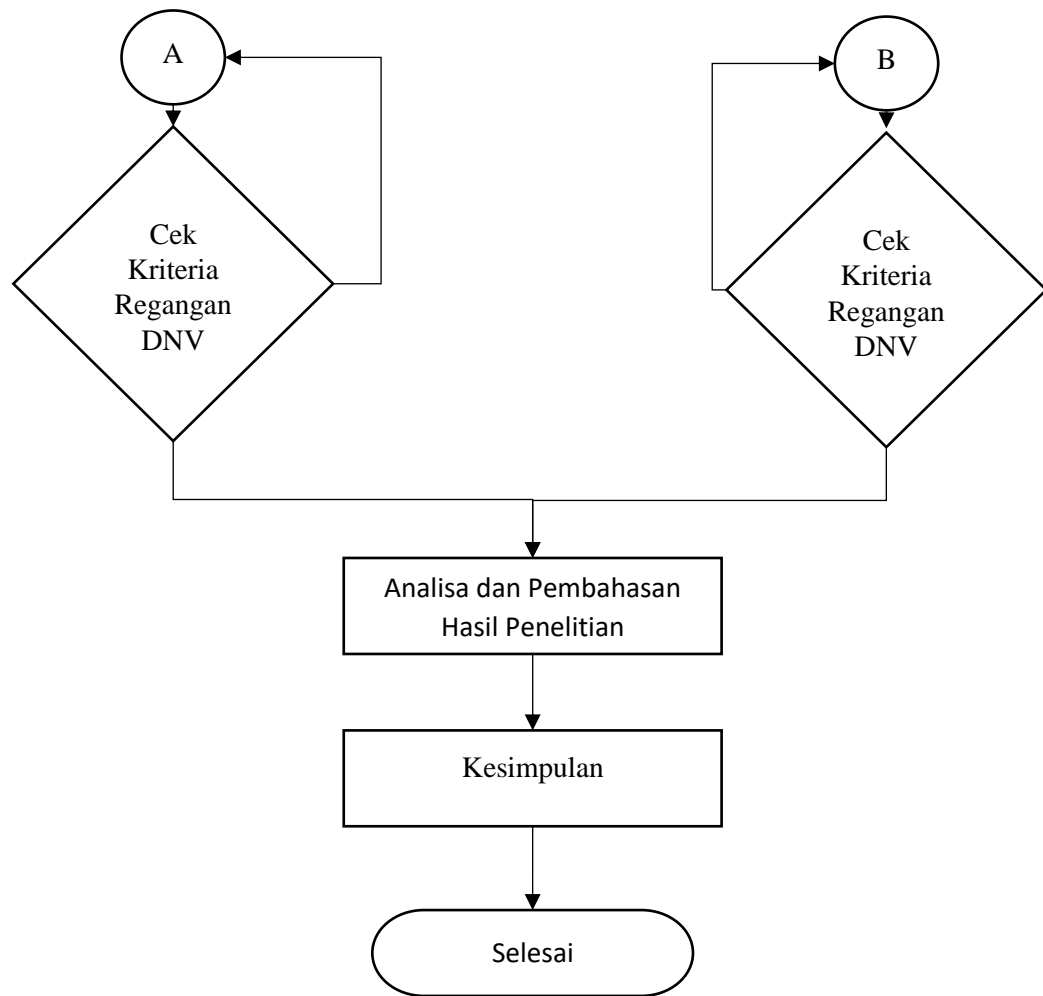
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Gambar 3.1 berikut merupakan acuan pengerjaan yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir ini





Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Pada diagram alir pada gambar diberikan tahap – tahap pengerjaan tugas akhir ini. berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai tahap – tahap tersebut:

1. Data Pipa dan Lingkungan, & Studi Literatur

Pada tahap ini penulis menyiapkan semua data yang diperlukan untuk mengerjakan tugas akhir ini, seperti data pipa, data lingkungan, batimetri, laybarge dan lainnya. Penulis juga mencari dan mempelajari paper, jurnal, codes, dan buku – buku yang menunjang penelitian yang dilakukan.

2. Perhitungan Tebal Pipa

Perhitungan tebal pipa dilakukan pada tahap ini. Tebal pipa yang didapat pada tahap ini digunakan sebagai acuan untuk analisis selanjutnya. Penulis melakukan perhitungan berdasarkan kriteria – kriteria pada DNV-OS-F101.

3. Permodelan *Laybarge*

Struktur *laybarge* harus dimodelkan terlebih dahulu. *Software* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *OrcaFlex*. Metode *laying* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah J-Lay. Data – data *laybarge* dimasukkan pada tahap ini.

4. Permodelan Pipa pada Kondisi Operasional

Pada tahap ini, pipa dimodelkan dengan kondisi saat pipa beroperasi. Tekanan internal dan eksternal pipa dimasukkan pada tahap ini. Data lingkungan yang digunakan pada tahap ini adalah data 100 tahunan. Setelah itu dilakukan pengecekan tegangan di sepanjang pipa untuk melihat titik – titik kritisnya.

5. Permodelan Pipa pada Kondisi Instalasi dalam Keadaan Kosong

Pada tugas akhir ini, pipa akan diinstalasi pada laut dalam. Pipeline yang didesain pada kondisi operasi belum tentu kuat saat instalasi dilakukan. Pada tahap ini dianggap tidak ada tekanan internal pipa/ pipa dalam keadaan kosong saat diinstalasi. Data lingkungan yang digunakan pada tahap ini adalah data 1 tahunan. Setelah itu analisis dilakukan untuk melihat titik – titik kritis pada pipa, terutama pada area overbend dan sagbend. Pada area tersebut pipeline harus dapat memenuhi kriteria pada DNV-OS-F101 mengenai beban

kombinasi, yaitu *Load Controlled Condition* (LCC) pada bagian *sagbend*, dan *Displacement Controlled Condition* (DCC) pada bagian *overbend*. Jika belum memenuhi maka tebal pipa harus diubah. Setelah regangan *overbend* perlu dilihat agar tetap sesuai kriteria DNV.

6. Permodelan Pipa pada Kondisi Instalasi dalam Keadaan *Water Filled*

Pada tahap ini, pipa diinjeksikan air sampai pada ketinggian tertentu saat instalasi dilakukan. Pengisian air ini bertujuan untuk memberikan tekanan internal pada pipa agar tekanan hidrostatik yang diterima pipa dapat berkurang. Diharapkan tebal pipa pada kondisi instalasi ini lebih ekonomis. Data Lingkungan yang digunakan pada tahap ini adalah data satu tahunan. dilakukan juga pengecekan kriteria menurut DNV pada area *overbend* dan *sagbend*. Area – area tersebut harus memenuhi *Load Controlled Condition* (LCC) dan *Displacement Controlled Condition* (DCC).

7. Analisa dan Pembahasan

Setelah perhitungan dan permodelan dilakukan, pada tahap ini hasil – hasil tebal pipa dan tegangannya dari kondisi operasional, instalasi kosong, dan instalasi *water filled* dianalisa dan dibandingkan. Dilakukan pula analisis metode instalasi yang sebaiknya digunakan pada kedalaman tersebut. Setelah itu pembahasan mengenai langkah pengerjaan dan hasil dilakukan.

8. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan adalah jawaban dari masalah – masalah yang dianalisa pada tugas akhir ini. Kemudian penulis memberikan saran untuk mengembangkan penelitian ini lebih lanjut.

3.1 Data yang Digunakan

3.1.1 Data Pipa

Tabel 3.1 berikut adalah data pipa yang akan digunakan dalam tugas akhir ini.

Tabel 3.1 Data Pipa

Descriptions	Unit	14" Infield Pipeline From Manifold to FPU
Outside Diameter	Mm	355.6
Corrosion Allowance	Mm	5
Pipe Manufacturing	-	SMLS
Steel Grade	-	API 5L X65 PSL2
SMYS/SMTS	MPa	450/535
Density	kg/m ³	7850
Modulus Elasticity	MPa	207000
Poisson's Ratio	-	0.3
Coef. Of Thermal Expansion	°C ⁻¹	1.16E-05

3.1.2 Data Desain

Design data dari *pipeline* yang akan didesain dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut. Data ini berisi data mengenai konten yang akan didistribusikan dalam pipa.

Tabel 3.2 Data Design Pipeline

Descriptions	Unit	14" Infield Pipeline From Manifold to FPU
Design Pressure	Bara	241
MAOP	Bara	241
Hydrotest Pressure	Bara	1.25 x MAOP
Design Temperature (Max/Min)	°C	65/-10
Fluid Specific Weight (Max/Min)	kg/m ³	213/31
Hydrotest Fluid Specific Weight	kg/m ³	1025
Refference height for design Pressure	M	-1426

3.1.3 Data Lingkungan

Berikut ini adalah data – data lingkungan yang digunakan dalam tugas akhir ini mulai dari tidal level, tinggi gelombang, hingga kecepatan arus. Data – data diperlukan untuk mendesain pipa, memodelkan laybarge, sampai melakukan analisis.

Tabel 3.4. Tidal Level

Level (m)	Location		
	FPU	Mid Pipe	Manifold
HAT	1.31	1.31	1.31
MHWS	1.14	1.13	1.14

Level (m)	Location		
	FPU	Mid Pipe	Manifold
MHHW	0.81	0.81	0.81
MLHW	0.32	0.33	0.32
MHWN	0.23	0.25	0.24
MSL	0	0	0
MLWN	-0.28	-0.28	-0.27
MHLW	-0.52	-0.52	-0.52
MLLW	-0.67	-0.67	-0.67
MLWS	-0.89	-0.9	-0.89
LAT	-1.03	-1.03	-1.03

Tabel 3.5 Data Area Manifold

Parameter	Simbol	Satuan	Jangka Waktu	
			1 tahunan	100 tahunan
Tinggi Gelombang				
Tinggi Gelombang Signifikan	Hs	M	2.87	3.87
Periode Gelombang Signifikan	Ts	S	7.5	8.8
Kecepatan Arus				
Permukaan	Vo	m/s	1.51	2.2
Dasar	Vd	m/s	0.01	0.02

Tabel 3.6 Data Area Mid Pipe

Parameter	Simbol	Satuan	Jangka Waktu	
			1 tahunan	100 tahunan
Tinggi Gelombang				
Tinggi Gelombang Signifikan	Hs	M	2.75	3.97
Periode Gelombang Signifikan	Ts	S	8.7	10.5
Kecepatan Arus				
Permukaan	Vo	m/s	1.75	2.36
Dasar	Vd	m/s	0.01	0.02

Tabel 3.7 Data Area FPU

Parameter	Simbol	Satuan	Jangka Waktu	
			1 tahunan	100 tahunan
Tinggi Gelombang				
Tinggi Gelombang Signifikan	Hs	M	2.75	3.97
Periode Gelombang Signifikan	Ts	S	8.7	10.5
Kecepatan Arus				
Permukaan	Vo	m/s	1.76	2.38
Dasar	Vd	m/s	0.02	0.03

3.1.4 Data Laybarge

Untuk instalasi metode *J-Lay*, model *laybarge* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah Deep Blue. berikut ini merupakan gambar dari *laybarge* tersebut.



Gambar 3.2 *Laybarge Deep Blue*

Laybarge tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Principal Dimension

- *Length* : 162.3 m
- *Breadth* : 37.8 m
- *Height* : 16.1 m
- *Draft* : 6.6 m
- *Disp* : 26724 ton

Pipelay Equipment

- *Tension Capacity* : 770 ton
- *tower Length* : 58 - 90°

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter DNV

Dalam mendesain *pipeline* menggunakan DNV-OS-F101 diperlukan parameter – parameter desain sehingga analisis dapat dilakukan. Tabel 4.1 berikut memberikan parameter – parameter tersebut.

Tabel 4.1 Parameter DNV

Parameter		Unit	14" Infield Pipeline
Fabrication Tolerance (tfab)	SMLS	Mm	1.5
Out of Roundness, F0		%	3
Stress Derated Value	fy temp	Mpa	9
	fu temp	Mpa	9
Max Allowed yield to tensile ratio	Ah	-	0.9
Max Fabrication factor (α_{fab})	SMLS	-	1
Supplementary requirement		-	not required
Incidental/design pressure ratio γ_{inc}		-	1.1

Menurut DNV-OS-F101, sebelum melakukan analisis, perlu dilakukan klasifikasi mengenai fluida, lokasi, dan keamanannya. Berdasarkan data – data yang didapat, baik data pipa maupun data design, berikut adalah klasifikasi – klasifikasi pada sistem *pipeline* ini.

Tabel 4.2 Klasifikasi Fluida (DNV-OS-F101, 2013)

Category	Description
A	Typical non-flammable water-based fluids
B	Flammable and or toxic fluids which are liquids at ambient temperature and atmospheric pressure conditions. Typical examples are oil and petroleum products. Methanol is an example of a flammable and toxic fluid.
C	Non-flammable fluids which are non-toxic gases at ambient temperature and atmospheric pressure conditions. Typical examples are nitrogen, carbon dioxide, argon, and air.
D	Non-toxic, single-phase natural gas
E	Flammable and /or toxic fluids which are gases at ambient temperature pressure conditions and which are conveyed as gases and/or liquids. Typical examples would be hydrogen, natural gas (not otherwise covered under category D), ethanic, ethylene, liquified petroleum gas (such as propane and butane), natural gas liquids, ammonia, and chlorine.

Fluida yang ditransportasikan adalah gas, oleh karena menurut tabel 4.2 diatas , fluida tersebut termasuk dalam kategori E.

Tabel 4.3 Lokasi Pipeline (DNV-OS-F101,2013)

Location	Definition
1	The area where no frequent human activity is anticipated along the pipeline route
2	The part of the pipeline/riser in the near platform (manned) area or in areas with frequent human activity. The extent of location class 2 should be based on appropriate risk analyses. If no such analyses are performed a minimum horizontal distance of 500 m shall be adopted.

Pipeline tersebut berada di lepas pantai, sehingga menurut tabel 4.2 sebagian besar termasuk dalam lokasi 1, namun bagian yang dekat dengan fasilitas produksi termasuk dalam lokasi 2.

Tabel 4.4 Klasifikasi Tingkat Keamanan (DNV-OS-F101, 2013)

Phase	Fluid Category A, C		Fluid Category B, D, and E	
	Location Class		Location Class	
	1	2	1	2
Temporary	Low	Low	-	-
Operational	Low	Medium	Medium	High

Berdasarkan klasifikasi diatas, maka menurut tabel 4.4, *pipeline* yang berada pada lokasi 1 memiliki tingkat keamanan sedang (medium), dan yang terdapat pada lokasi 2 memiliki tingkat keamanan tinggi (high).

Faktor resistensi material γ_m yang digunakan dalam analisa ini adalah 1.15 karena perhitungan ini berdasarkan limit state, hal ini dapat dilihat pada tabel 4.5. Untuk faktor resistensi keamanannya γ_{sc} pada *pressure containment* dengan kemananan sedang :1.138 dan tinggi 1.308, sedangkan selain *pressure containment* memiliki faktor 1.14

untuk keamanan sedang, dan 1.26 untuk keamanan tinggi. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.5 Faktor Resistensi Material (DNV-OS-F101, 2013)

Faktor Resistensi Material, γ_m		
Limit State Category	SLS/ULS/ALS	FLS
Γ_m	1.15	1

Tabel 4.6 Faktor Resistensi Safety Class (DNV-OS-F101, 2013)

Faktor Resistensi Safety Class			
	Γ_{sc}		
Safety Class	Low	Medium	High
Pressure Containment	1.046	1.138	1.308
Other	1.04	1.14	1.26

4.2 Perhitungan Tebal Pipa Menurut DNV-OS-F101

4.2.1 Perhitungan Tekanan Lokal

Dengan menggunakan data – data diatas, tekanan lokal dapat dihitung. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P_{li} = P_{inc} + \rho_{cont} \times g \times (h_{ref} - h_l) \quad (3.1)$$

$$P_{ld} = P_d + \rho_{cont} \times g \times (h_{ref} - h_l) \quad (3.2)$$

$$P_{inc} = P_d \times \gamma_{inc} \quad (3.3)$$

Perhitungan ini dilakukan pada setiap kedalaman sepanjang pipeline tersebut diletakan. Hasil dari perhitungan tersebut akan digunakan dalam *perhitungan pressure containment, external collapse, dan propagation buckling*. Berikut adalah perhitungan pada kedalaman maksimum:

$$P_{inc} = 2,64 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$P_{li} = 2,64 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$P_{ld} = 24072864 \text{ Pa}$$

4.2.2 Perhitungan Tebal Pipa *Pressure Containment*

Dalam mendesain ketebalan *pipeline* menurut DNV-OS-F101, *pressure containment* merupakan salah satu kriteria kegagalan yang harus dipenuhi. Tebal pipa minimum harus dicari dalam kondisi operasi maupun *hydrotest* sepanjang kedalaman *pipeline*. Persamaan yang digunakan adalah persamaan 2. 9 dan 2.10 berikut:

$$P_{li} - P_e \leq \text{Min} \left(\frac{P_b(t1)}{\gamma_m \gamma_{sc}}; \frac{P_{lt}}{\alpha_{spt}} - P_e; P_h * \frac{\alpha U}{\alpha_{mpt}} \right)$$

$$P_{lt} - P_e \leq \text{Min} \left(\frac{P_b(t1)}{\gamma_m \gamma_{sc}}; P_h \right)$$

4.2.3 Perhitungan Tebal Pipa *Local Buckling-External Overpressure Only*

Pipeline juga harus dapat memenuhi kriteria kegagalan ini. Kegagalan ini terjadi akibat tekanan dari luar *pipeline* yang dapat menyebabkan terjadinya *buckling*. Berikut adalah persamaan 2.13 yang harus dipenuhi.

$$P_e - P_{min} \leq \frac{P_c(t1)}{\gamma_m \gamma_{sc}}$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut perlu dicari tebal pipa minimum *pipeline* pada tiap kedalaman sepanjang *pipeline* agar *buckling* tidak terjadi. Perhitungan dilakukan pada kondisi operasi

4.2.4 Perhitungan Tebal Pipa *Propagation Buckling*

Setelah tebal minimum *pipeline* akibat *local buckling* diketahui, perlu juga dilakukan perhitungan tebal minimum pipa untuk mencegah terjadinya *propagation buckling*. Perhitungan ini berguna untuk mendapatkan tebal *buckle arrestor* yang diperlukan. Persamaan 2.17 yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P_e - P_{min} \leq \frac{P_{pr}}{\gamma_m \gamma_{sc}}$$

Perhitungan tebal pipeline minimum ini menggunakan kondisi saat operasi.

4.2.5 Wall thickness yang Dibutuhkan

Setelah mengetahui ketebalan minimum pipa yang dibutuhkan menurut kegagalan *pressure containment*, *external overpressure*, dan *propagation buckling*, hal yang perlu dilakukan adalah mencocokkan tebal minimum tersebut dengan API 5L lalu membandingkan tebal pipa minimum ketiganya.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Wall Thickness

Kegagalan	Kondisi	Wall Thickness yang dibutuhkan (mm)	API 5L (mm)
Pressure Containment	Operasional	12.75	14.3
	Hydrotest	7.98	8.7
External Pressure Collapse	Operasional	21.98	22.2
Propagation Buckling	Operasional	30.83	31.8

Berdasarkan tabel 4.7 tersebut, tebal pipa yang digunakan sebagai acuan awal pada tugas akhir ini adalah 22.2 mm, hasil dari perhitungan dengan kriteria kegagalan *external preessure collapse*.

4.3 Perhitungan *On-Bottom Stability*

Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mencari terlebih dahulu kecepatan partikel gelombang (Us) menggunakan gambar 2.9. Tn yang didapat dengan menggunakan persamaan 2.40 adalah 12.057 s.

Periode tersebut kemudian dibandingkan dengan periode spectral peak (T_p) agar bisa digunakan pada grafik tersebut. Didapatkan kecepatan partikel gelombang adalah $2.28E-4$ m/s.

langkah kedua adalah menghitung kecepatan rata- rata arus disepanjang pipa. Jenis tanah pada *seabed* adalah lempung (*clay*), sehingga mempunyai ukuran butiran (d_{50}) sebesar 0.0039 mm dan kekasaran butiran (Z_0) $3.25 E-6$ m. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Jenis – jenis Tanah

No	TYPE	GRAIN SIZE (mm)	ROUGHNESS (m)
1	SILT	0.063	5.21E-06
2	VERY FINE SAND	0.125	1.04E-05
3	FINE SAND	0.25	2.08E-05
4	MEDIUM SAND	0.50	4.17E-05
5	COARSE SAND	1	8.33E-05
6	VERY COARSE SAND	2	1.67E-04
7	GRAVEL	4	3.33E-04
8	PEBBLE 1	10	8.33E-04
9	PEBBLE 2	25	2.08E-03
10	PEBBLE 3	50	4.17E-03
11	COBBLE 1	100	8.33E-03
12	COBBLE 2	250	2.08E-02
13	BOULDER	500	4.17E-02
14	CLAY	0.0039	3.25E-06
	From Fig 4-7 of Shore Protection Manual, typical value only		

kemudian menggunakan persamaan berikut untuk mendapatkan kecepatan rata – rata yang terjadi di sepanjang pipa dengan menggunakan persamaan 2.41. dari perhitungan tersebut didapatkan $U_d = 0.01 \text{ m/s}$.

Gaya – gaya yang mempengaruhi kestabilan pipa di dasar laut adalah gaya lift, drag, dan inersia. Ketiganya perlu diketahui untuk dapat mengetahui berat pipa minimum yang dibutuhkan pipa agar stabil. persamaan yang digunakan adalah 2.42, 2.43 dan 2.44.

Koefisien *lift*, *drag*, dan inersia (C_l, C_d, C_m) pada metode ini telah diketahui, yaitu 0.9, 0.7, dan 3.29. pada persamaan gaya inersia, A_s adalah percepatan signifikan arus ($2\pi U_s/T_u$). didapat 7.406 E-5 m/s^2 . Sehingga didapat pada tugas akhir ini $F_{lift} = 0.015 \text{ N/m}$, $F_{drag} = 0.012 \text{ N/m}$, dan $F_{lift} = 0.025$, dihitung pada fase 90° .

Langkah terakhir adalah menghitung berat minimum pipa. Persamaan yang digunakan pada metode ini adalah 2.45 Faktor kalibrasi dapat dicari dengan menggunakan grafik pada gambar 2.10. Angka *Keulgen Carpenter* dapat dicari dengan persamaan 2.46. pada tugas akhir ini didapat 0.007. Sedangkan rasio kecepatan arus (M) dapat dicari dengan persamaan 2.47. Didapat 42.609. Sehingga didapatkan faktor kalibrasi adalah 1. Untuk faktor friksi tanah (μ) dapat dicari dengan grafik pada gambar 2.11. Didapatkan faktor friksi tanah untuk tugas akhir ini adalah 1.3.

Dengan didapatkannya semua parameter yang dibutuhkan, berat pipa minimum yang dibutuhkan pipa dapat dihitung. Hasil yang didapat adalah 0.044 N/m . Jika dibandingkan dengan berat sebenarnya, nilai tersebut jauh lebih kecil, sehingga dapat disimpulkan pipa tersebut tidak memerlukan *concrete coating*.

4.4 Analisa *Catenary Analysis*

Sebelum dilakukan permodelan menggunakan *software*, perlu dihitung terlebih dahulu kapasitas tension dan sudut yang diperlukan untuk instalasi dilakukan. metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah natural catenary analysis. Hasil dari tension yang didapat pada perhitungan ini dapat digunakan untuk validasi hasil yang didapat

menggunakan software. Berikut adalah langkah – langkah yang digunakan untuk melakukan catenary analysis

langkah 1, menghitung berat pipa tenggelam (w_s). Berat pipa tenggelam didapat dari berat pipa dikurangi dengan *buoyancy*.

$$W_{subm} = W_{pipe} - b \quad (3.4)$$

Berat pipa dan *buoyancy* sendiri didapat dengan persamaan berikut

$$W_{pipe} = \rho_{st} g A_{tot} \quad (3.5)$$

$$b = \rho_{sw} g AOD \quad (3.6)$$

dengan,

ρ_{st} : densitas baja (ton/m^3)

ρ_{sw} : densitas air laut (ton/m^3)

g : gravitasi (m/s^2)

A_{tot} : Luas diameter luar pipa (AOD) – luas diameter dalam pipa (AID) (m^2)

dengan menggunakan persamaan tersebut, didapat berat pipa tenggelam adalah 0.79 ton/m.

Langkah 2, menghitung gaya horizontal (H) yang terjadi pada touchdown area dengan menggunakan persamaan berikut (Jensen, 2010)

$$\frac{1}{R} = \frac{w_s}{H} \quad (3.7)$$

dengan,

R : kurvatur minimum pada *touchdown point* (m)

Dalam thesisnya, hendryanti (2013) memberikan persamaan 2.45 untuk menghitung kurvatur minimum ini. Sehingga, didapat gaya horizontal yang terjadi pada *touchdown point* adalah 64,74 ton.

Langkah 3, menghitung panjang *suspended* pipe (s) menggunakan persamaan 2.43. sehingga didapat panjang *suspended* pipe pada kedalaman 1426 m adalah 1505,57 m

Langkah 4, menghitung *tension* dan sudut yang dibutuhkan untuk *laying* pipa. dari gambar tersebut terlihat bahwa *tension* (T) yang dibutuhkan merupakan resultan dari gaya vertical (V) dan horizontal (H) pipa. sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$T = \sqrt{H^2 + V^2} \quad (3.8)$$

Gaya vertical merupakan berat dari pipa *suspended*, sehingga

$$V = W_{subm} s \quad (3.9)$$

Gaya vertical yang didapat adalah 1191,8 ton. kemudian dimasukkan dalam persamaan bersama gaya horizontalnya, maka didapat *tension* yang dibutuhkan *vessel* adalah 1193.56 ton atau 1193.56 kN..

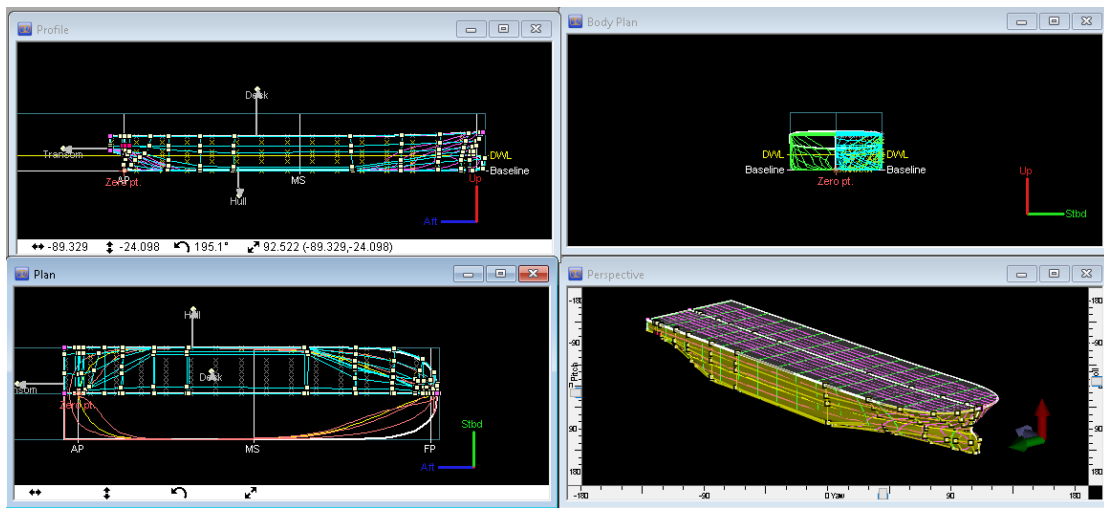
Sudut dari tower dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Ws}{H} \right) \quad (3.10)$$

sehingga didapat sudut yang diperlukan *tower* untuk instalasi pipa adalah 86°.

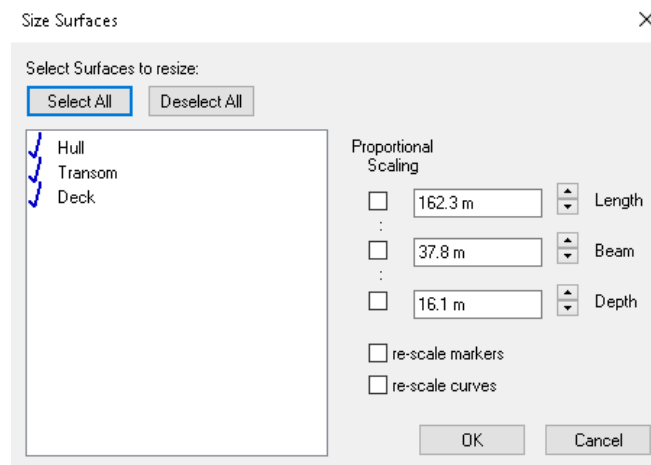
4.5 Permodelan *Vessel*

Sebelum melakukan analisa instalasi, *lay vessel* yang digunakan harus dimodelkan terlebih dahulu. Hal ini dilakukan karena pada analisa dinamis, pipa juga mendapat beban akibat gerakan dari *vessel* tersebut. selain itu perlu dilihat pula kemampuan *vessel* untuk menahan beban dari pipa sendiri. Pada tugas akhir ini *vessel* yang digunakan adalah Deep Blue. Data dari *vessel* ini dapat dilihat pada subab . permodelan *vessel* ini menggunakan *software moses modeler* seperti gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Model *Lay Vessel*

dengan principle dimension seperti pada gambar 4.2 berikut,



Gambar 4.2 *Principle Dimension* dari Vessel

Setelah *vessel* dimodelkan, dihitung terlebih dahulu hidrostatis pada sarat untuk mendapatkan *displacement*. Displacement ini disesuaikan dengan data *vessel*. Dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Hydrostatic pada Sarat

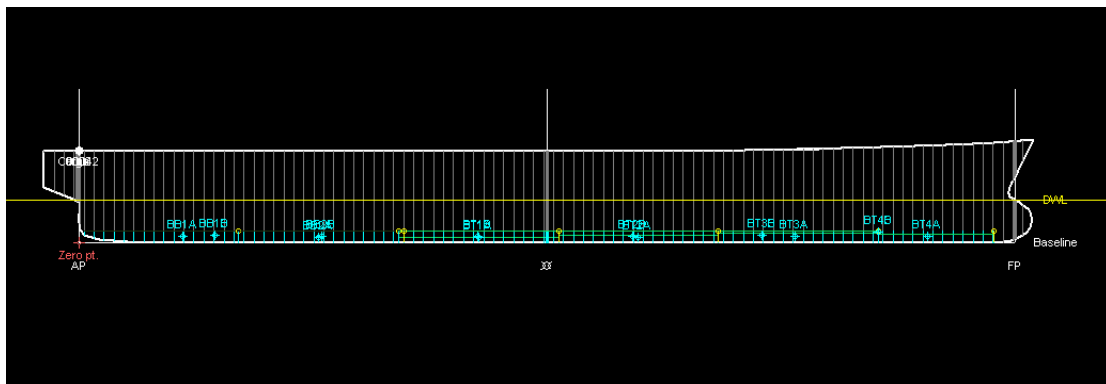
Displacement	26724	T
Volume (displaced)	26072.06	m ³
Draft Amidships	6.6	M
Immersed depth	6.6	M
WL Length	146.809	M
Beam max extents on WL	37.799	M
Wetted Area	5802.905	m ²
Max sect. area	246.656	m ²
Waterpl. Area	4366.358	m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0.72	
Block coeff. (Cb)	0.712	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.989	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.787	
LCB length	-66.945	from zero pt. (+ve aft) m
LCF length	-64.866	from zero pt. (+ve aft) m
LCB %	-45.6	from zero pt. (+ve aft) % Lwl
LCF %	-44.184	from zero pt. (+ve aft) % Lwl
KB	3.466	M
KG fluid	0	M
BMt	16.422	M
BML	212.759	M
GMt corrected	19.887	M
GML	216.225	M
KMt	19.887	M
KML	216.225	M
Immersion (TPc)	44.755	tonne/cm
MTc	394.541	tonne.m

RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	9275.324	tonne.m
Length:Beam ratio	3.884	
Beam:Draft ratio	5.727	
Length:Vol^{0.333} ratio	4.951	
Precision	Medium	69 stations

Pada tugas akhir ini vessel menggunakan metode *J-lay* dengan laying tower di bagian buritan.

4.6 Analisa Stabilitas Vessel

Setelah vessel dimodelkan, perlu dianalisa juga kemampuannya untuk menahan beban pipa saat instalasi berlangsung. hal tersebut dapat diketahui dengan menganalisa stabilitasnya. Pada analisa ini, pipa dimodelkan sebuah kargo silinder dengan berat pipa saat instalasi dan diletakkan di buritan *vessel*, karena instalasi menggunakan metode *J-lay*. kemudian dilihat kemampuan ballasting dari *vessel* tersebut. Jika masih bisa stabil, maka *vessel* tersebut mampu menahan beban pipa. *Software* yang digunakan untuk menganalisa stabilitas pada tugas akhir ini adalah *Moses Stability*. Gambar berikut adalah tampak samping dari *vessel* yang digunakan:



Gambar 4.3 Vessel Tampak Samping

Dari gambar tersebut terlihat pipa terletak diatas zero point pada *main deck*. Vessel tersebut memiliki tangki bahan bakar dan *ballast*, pada tabel 4.10, dengan asumsi sebagai berikut:

Tabel 4.10 Tangki Bahan Bakar dan Ballast pada Vessel

Name	Type	Perm (%)	Specific gravity (ton/m³)	Fluid Type	Aft (m)	Fore (m)	Port (m)	Stbd (m)	Top (m)	Btm (m)
BB1 A	Tank	100	0.9443	Fuel Oil	0	-25	-6.3	6.3	1.75	0
BB1B	Tank	100	0.9443	Fuel Oil	0	-25	6.3	18.9	1.75	0
BB1 C	Tank	100	0.9443	Fuel Oil	0	-25	- 18.9	-6.3	1.75	0
BB2 A	Tank	100	0.9443	Fuel Oil	-25	-50	-6.3	6.3	1.75	0
BB2B	Tank	100	0.9443	Fuel Oil	-25	-50	6.3	18.9	1.75	0
BB2 C	Tank	100	0.9443	Fuel Oil	-25	-50	- 18.9	-6.3	1.75	0
BT1 A	Tank	98	1.025	Sea Water	-50	-75	-6.3	6.3	1.75	0
BT1B	Tank	98	1.025	Sea Water	-50	-75	6.3	18.9	1.75	0
BT1 C	Tank	98	1.025	Sea Water	-50	-75	- 18.9	-6.3	1.75	0
BT2 A	Tank	98	1.025	Sea Water	-75	-100	-6.3	6.3	1.75	0
BT2B	Tank	98	1.025	Sea Water	-75	-100	6.3	18.9	1.75	0
BT2 C	Tank	98	1.025	Sea Water	-75	-100	- 18.9	-6.3	1.75	0

Kemudian dilakukan analisa stabilitas. Konsep dari analisa ini adalah melihat kapasitas dari tanki ballast untuk menjaga kapal tetap stabil. Berikut adalah tabel hasil analisa stabilitas.

Tabel 4.11 Analisa Stabilitas *Vessel*

Name	Quantity	Unit Mass (Ton)	Total Mass (Ton)	Unit Volume (m³)	Total volume (m³)
Lights hip	1	21400	21400		
Cargo 2	1	121.504	121.504		
BB1A	100%	323.667	323.667	342.759	342.759
BB1B	100%	78.554	78.554	83.187	83.187
BB1C	100%	78.554	78.554	83.187	83.187
BB2A	100%	520.071	520.071	550.748	550.748
BB2B	100%	458.354	458.354	485.39	485.39
BB2C	100%	458.354	458.354	485.39	485.39
BT1A	45.47 %	553.557	251.704	540.056	245.565
BT1B	100%	511.891	511.891	499.406	499.406
BT1C	100%	511.891	511.891	499.406	499.406
BT2A	63.64 %	552.127	351.351	538.661	342.782
BT2B	100%	427.134	427.134	416.716	416.716
BT2C	100%	427.134	427.134	416.716	416.716
BT3A	84.01 %	514.104	431.882	501.565	421.348
BT3B	100%	126.774	126.774	123.682	123.682
BT3C	100%	126.774	126.774	123.682	123.682

Name	Quantity	Unit Mass (Ton)	Total Mass (Ton)	Unit Volume (m ³)	Total volume (m ³)
BT4A	64.59 %	205.862	132.956	200.841	129.713
BT4B	100%	0.002	0.002	0.002	0.002
BT4C	100%	0.002	0.002	0.002	0.002
Total Loadcase			26738.55	5891.397	5249.683

Setelah itu dianalisa kembali hidrostatiknya untuk melihat apakah kapal tetap *even keel* atau tidak. Tabel 4.12 berikut merupakan analisa hidrostatik setelah perhitungan ballast.

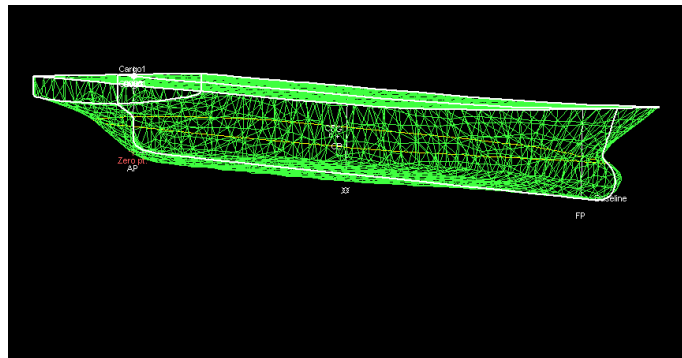
Tabel 4.12 Hidrostatik setelah Analisa *Ballast*

Displacement t	26739
Heel deg	0
Draft at FP m	6.6
Draft at AP m	6.6
Draft at LCF m	6.6
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	146.809
Beam max extents on WL m	37.799
Wetted Area m²	5722.99
Waterpl. Area m²	4369.836
Prismatic coeff. (Cp)	0.72
Block coeff. (Cb)	0.712
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.989
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.787
LCB from zero pt. (+ve aft) m	-66.921
LCF from zero pt. (+ve aft) m	-64.842

KB m	3.466
KG m	6.6
BMt m	16.42
BML m	213.013
GMt m	13.286
GML m	209.878
KMt m	19.886
KML m	216.478
Immersion (TPc) tonne/cm	44.791
MTc tonne.m	383.172
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	6199.751
Max deck inclination deg	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0

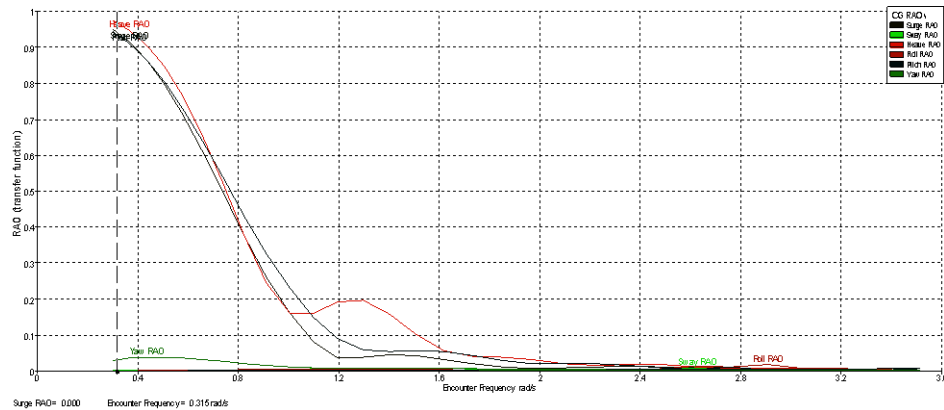
4.7 Analisa *Motion Vessel*

Tahap selanjutnya adalah menganalisa motion dari *lay vessel*. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui RAO (*Response Amplitude Operator*) dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum gerak kapal. Spektrum gelombang yang dipakai pada tugas akhir ini adalah *Jonswap* dengan model *vessel* yang telah dianalisa sebelumnya. Data lingkungan dapat dilihat pada subab . Pada analisa ini beban pipa juga telah diletakkan pada vessel seperti pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Model *Vessel* untuk Analisa *Motion*

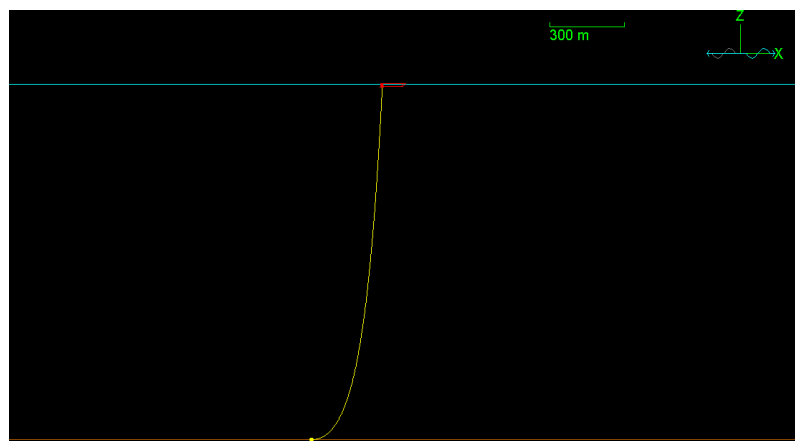
Beban pipa diasumsikan sebagai kargo yang diletakkan pada buritan kapal. Arah gelombang yang dianalisa adalah 0° , 45° , 90° , 135° , 180° . Salah satu hasil dari analisa motion ini seperti pada gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 RAO pada 180°

4.8 Permodelan Instalasi

Pada tugas akhir ini, instalasi *pipeline* dimodelkan menggunakan *software OrcaFlex*. Metode instalasi yang digunakan adalah *J-Lay*. Berat, dan panjang pipa tercelup saat instalasi dilakukan telah dihitung pada subbab *catenary analysis*. *Vessel* dimodelkan kembali pada tahap ini untuk analisa selanjutnya. Telah dihitung pula sudut instalasinya yaitu 86° . Sehingga model instalasi didapat seperti pada gambar 4.7 berikut



Gambar 4.7 Permodelan Instalasi

Pipa dimodelkan berada di buritan vessel. Analisa yang dilakukan ada dua jenis, yaitu analisa statis dan dinamis. Kedua analisis itu dilakukan untuk memenuhi kriteria beban kombinasi pada pipa menurut DNV-OS-F101 yaitu Load Controlled Condition pada daerah sagbend. Pada tugas akhir ini saat instalasi dimodelkan dengan dua kondisi yaitu saat kondisi pipa kosong dan terisi air (water filled).

4.9 Kondisi Pipa Kosong

4.9.1 Analisa Statis Pipa Kosong

Beban yang diterima pada pipa saat analisa statis adalah beban fungsional. Seperti dijelaskan pada dasar teori, beban fungsional adalah beban yang muncul akibat keberadaan dari sistem *pipeline* sendiri. Sebelum melakukan analisa *sagbend*, perlu divalidasi terlebih dahulu beban yang terjadi pada ujung pipa hasil perhitungan menggunakan *orcaflex* dengan perhitungan *catenary analysis*. Tabel 4.13 berikut adalah perbandingannya.

Tabel 4.13 Perbandingan *Catenary Analysis* dan *Orcaflex Static Analysis*

Catenary Analysis (kN)	OrcaFlex Static Analysis (kN)
1193	1105

Setelah itu, melakukan analisa pada area *sagbend* untuk mencari variable – variable yang dibutuhkan untuk memenuhi kriteria LCC, seperti momen *bending* fungsional pipa, dan gaya aksial fungsional pipa. Dapat dilihat pada tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14 Beban Fungsional Pipa Kosong

Mid-Segment Loads; * indicates seabed contact			
Segment	Arc Length (m)	Effective	Bend Moment
		Tension (kN)	(kN.m)
276	1377.5	35.21	603.40
277	1382.5	31.02	665.94
278	1387.5	26.84	729.20
279	1392.5	22.70	791.80
280	1397.5	18.64	852.14
281	1402.5	14.73	908.38
282	1407.5	11.01	958.47
283	1412.5	7.57	1000.26
284	1417.5	4.47	1031.53
285	1422.5	1.79	1050.13
286	1427.5	-0.42	1054.02
287	1432.5	-2.10	1041.45
288	1437.5	-3.24	1010.96
289	1442.5	-3.84	961.46
290	1447.5	-3.95	892.26
291	1452.75	-3.59	797.47
292	1458.25	-2.85	674.93

Beban yang digunakan adalah yang terjadi pada segment 286 karena lebih besar.

4.9.2 Analisa Dinamis Pipa Kosong

Selain beban fungsional, *Load Controlled Condition* (LCC) memerlukan pula variabel momen *bending* environmental, dan gaya aksial *environmental*. beban *environmental* adalah beban yang terjadi pada pipeline akibat lingkungan sekitarnya. Pada *orcaflex*, analisa dinamis memperhitungkan semua beban yang ada, baik fungsional maupun *environmental*, oleh karena itu output yang ada harus diolah terlebih dahulu menggunakan persamaan berikut.

$$ME = Mx - MF \quad (4.1)$$

$$SE = Sx - SF \quad (4.2)$$

dengan,

ME : Momen *bending environmental* (kN m)

Mx : Momen *bending output orcaflex* (kN m)

MF : Momen *bending fungsional* (kN m)

SE : Gaya aksial *environmental* (kN)

Sx : Gaya aksial *output orcaflex* (kN)

SF : Gaya aksial fungsional (kN)

Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut

Tabel 4.15 Analisa LCC Pipa 22.2 mm

Mid-Segment Loads; * indicates seabed contact							
Seg ment	Arc Length (m)	Effectiv	Bend Moment	Env	Env Bend	Max von Mises	LCC Check
		Tension (kN)	(kN.m)	Axial Force (kN)	Moment (kN m)	Stress (kPa)	
276	1377.5	35.56	578.71	0.35	-24.69	330696.7703	0.95
277	1382.5	31.46	638.91	0.44	-27.03	362912.0245	1.04
278	1387.5	27.36	700.12	0.52	-29.08	395823.0228	1.14
279	1392.5	23.31	761.07	0.61	-30.73	428712.7017	1.25
280	1397.5	19.33	820.24	0.69	-31.90	460734.2936	1.36
281	1402.5	15.49	875.89	0.76	-32.48	490919.5825	1.48
282	1407.5	11.83	926.09	0.82	-32.38	518194.6519	1.59
283	1412.5	8.42	968.77	0.86	-31.49	541412.8997	1.69
284	1417.5	5.34	1001.78	0.87	-29.75	559397.6544	1.77
285	1422.5	2.64	1023.01	0.85	-27.12	570971.1937	1.83
286	1427.5	0.39	1030.43	0.81	-23.59	575019.4122	1.85
287	1432.5	-1.38	1022.22	0.73	-19.23	570536.4907	1.83
288	1437.5	-2.62	996.81	0.62	-14.14	556668.1438	1.77
289	1442.5	-3.35	952.97	0.49	-8.49	532750.9512	1.67
290	1447.5	-3.60	889.78	0.35	-2.47	498333.6123	1.52
291	1452.75	-3.39	801.49	0.20	4.02	450363.9949	1.34
292	1458.25	-2.79	685.69	0.06	10.76	387782.8116	1.13

pada tabel diatas terlihat bahwa pipeline gagal untuk memenuhi kriteria LCC. sehingga tebal pipa harus ditambah. Perlu diingat dengan menambah tebal pipa beban – beban yang terjadi pada pipa juga berubah mulai dari beban di ujung pipa, fungsional dan environmental, sehingga analisa statis dan dinamis harus kembali dilakukan. Tabel 4.16 berikut adalah beban fungsional, *environmental*, dan hasil perhitungan kriteria LCC dengan menambah tebal pipa menjadi 28.4 mm.

Tabel 4.16 Analisa LCC pada 28.4 mm

Mid-Segment Loads; * indicates seabed contact							
Seg ment	Arc Length (m)	Effectiv Tension (kN)	Bend Moment (kN.m)	Env Axial Force (kN)	Env Bend Moment (kN m)	Max von Mises Stress (kPa)	LCC Check
276	1377.5	53.94	749.78	0.47	-26.72	294051.33	0.40
277	1382.5	47.41	838.03	0.58	-29.78	325657.87	0.45
278	1387.5	40.88	928.26	0.69	-32.57	358313.56	0.52
279	1392.5	34.39	1018.36	0.81	-34.97	391228.42	0.59
280	1397.5	28.01	1105.72	0.93	-36.83	423441.98	0.66
281	1402.5	21.85	1187.34	1.04	-38.00	453833.50	0.74
282	1407.5	16.02	1259.82	1.13	-38.31	481146.27	0.82
283	1412.5	10.63	1319.51	1.20	-37.59	504027.14	0.88
284	1417.5	5.84	1362.67	1.22	-35.72	521080.28	0.94
285	1422.5	1.77	1385.66	1.21	-32.61	530932.15	0.97
286	1427.5	-1.47	1385.13	1.14	-28.25	532301.75	0.98
287	1432.5	-3.81	1358.22	1.02	-22.73	524068.63	0.96
288	1437.5	-5.21	1302.70	0.85	-16.22	505330.85	0.91
289	1442.5	-5.73	1217.04	0.66	-8.97	475447.38	0.83
290	1447.5	-5.47	1100.36	0.45	-1.29	434066.94	0.72
291	1452.75	-4.53	943.35	0.23	6.90	377914.36	0.59
292	1458.25	-3.10	742.90	0.02	15.27	306417.89	0.44

4.10 Kondisi Pipa *Water Filled*

Pada kondisi ini pipa diisi air saat instalasi dilakukan. Diharapkan tekanan yang dihasilkan dari air dapat mengurangi besarnya tekanan eksternal pipa sehingga tebal pipa dapat didesain lebih ekonomis namun tetap aman. Pada tugas akhir ini air

diisikan pada pipa yang telah menyentuh dasar laut, karena saat instalasi kosong, tempat dengan beban paling besar pada area *sagbend* berada saat pipa menyentuh dasar laut. analisa yang dilakukan sama seperti saat pipa kosong. Perlu terlebih dahulu mengetahui beban fungsional dan environmental pipa. beban – beban tersebut didapat dari analisa statis dan dinamis. Tabel 4.17 berikut adalah hasil yang didapat

Tabel 4.17 Beban Fungsional Pipa 22.2 mm *Water Filled*

Mid-Segment Loads; * indicates seabed contact			
Segment	Arc Length (m)	Effective Tension (kN)	Bend Moment (kN.m)
276	1377.5	35.21	603.40
277	1382.5	31.02	665.94
278	1387.5	26.84	729.20
279	1392.5	22.70	791.80
280	1397.5	18.64	852.14
281	1402.5	14.73	908.38
282	1407.5	11.01	958.47
283	1412.5	7.57	1000.26
284	1417.5	4.47	1031.53
285	1422.5	1.79	1050.13
286	1427.5	-0.42	1054.02
287	1432.5	-2.10	1041.45
288	1437.5	-3.24	1010.96
289	1442.5	-3.84	961.46
290	1447.5	-3.95	892.26
291	1452.75	-3.59	797.47
292	1458.25	-2.85	674.93

Kemudian dilakukan analisa dinamis seperti yang dilakukan pada pipa kosong. analisa dinamis menghasilkan beban gabungan fungsional dan lingkungan sehingga perlu diolah terlebih dahulu dengan persamaan. Setelah beban – beban tersebut diketahui, analisa *load controlled condition* dapat dianalisa seperti pada tabel 4.18 berikut.

Tabel 4.18 Analisa LCC pada Pipa 22.2 mm *Water Filled*

Mid-Segment Loads; * indicates seabed contact							
Seg ment	Arc Length (m)	Effectiv Tension (kN)	Bend Moment (kN.m)	Env Axial Force (kN)	Env Bend Moment (kN m)	Max von Mises Stress (kPa)	LCC Check
276	1377.5	35.21	603.40	0.35	-24.69	299872.28	0.95
277	1382.5	31.02	665.94	0.44	-27.03	327271.08	1.04
278	1387.5	26.84	729.20	0.52	-29.08	355375.88	1.14
279	1392.5	22.70	791.80	0.61	-30.73	383553.42	1.25
280	1397.5	18.64	852.14	0.69	-31.90	411054.85	1.36
281	1402.5	14.73	908.38	0.76	-32.48	437025.04	1.48
282	1407.5	11.01	958.47	0.82	-32.38	460520.04	1.59
283	1412.5	7.57	1000.26	0.86	-31.49	480533.26	1.69
284	1417.5	4.47	1031.53	0.87	-29.75	496029.64	1.77
285	1422.5	1.79	1050.13	0.85	-27.12	505986.45	1.83
286	1427.5	-0.42	1054.02	0.81	-23.59	509437.29	1.85
287	1432.5	-2.10	1041.45	0.73	-19.23	505516.35	1.83
288	1437.5	-3.24	1010.96	0.62	-14.14	493498.67	1.77
289	1442.5	-3.84	961.46	0.49	-8.49	472833.65	1.67
290	1447.5	-3.95	892.26	0.35	-2.47	443172.77	1.52
291	1452.75	-3.59	797.47	0.20	4.02	401977.20	1.34
292	1458.25	-2.85	674.93	0.06	10.76	348559.77	1.13

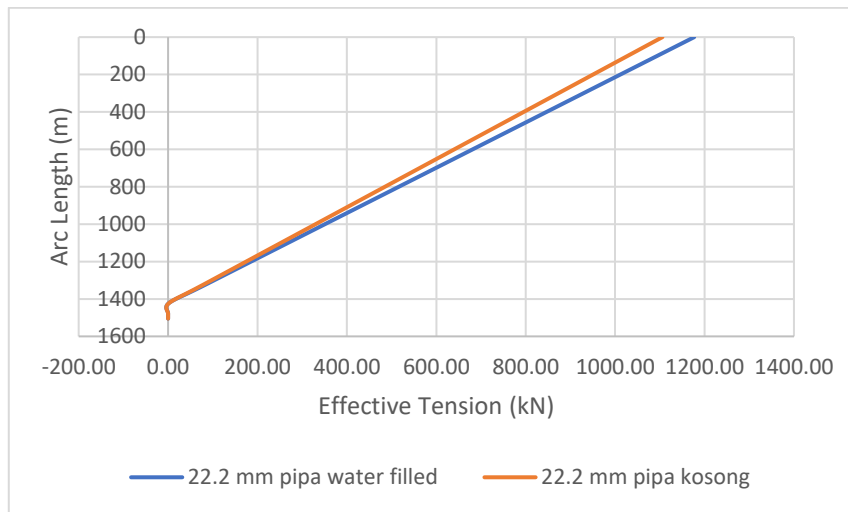
Dapat dilihat ternyata kriteria belum dapat dipenuhi, sehingga tebal pipa harus ditambah. Untuk kondisi *water filled*, kriteria LCC baru dapat dipenuhi pada tebal pipa 25.4 mm. Tabel 4.19 berikut adalah hasil analisa yang dilakukan.

Tabel 4.19 Analisa LCC pada Pipa 25.4 mm *Water Filled*

Mid-Segment Loads; * indicates seabed contact							
Seg ment	Arc Length (m)	Effectiv Tension (kN)	Bend Moment (kN.m)	Env Axial Force (kN)	Env Bend Moment (kN m)	Max von Mises Stress (kPa)	LCC Check
276	1377.5	47.77	696.22	0.46	-26.09	378602.66	0.60
277	1382.5	41.98	776.07	0.56	-28.98	416490.57	0.66
278	1387.5	36.18	857.47	0.67	-31.58	454541.86	0.72
279	1392.5	30.43	938.53	0.78	-33.78	491690.52	0.79
280	1397.5	24.79	1016.94	0.88	-35.45	526681.51	0.87
281	1402.5	19.35	1090.03	0.98	-36.43	558107.75	0.95
282	1407.5	14.19	1154.81	1.06	-36.57	584451.70	0.92
283	1412.5	9.43	1208.09	1.11	-35.74	604155.91	0.98
284	1417.5	5.20	1246.59	1.14	-33.81	615676.70	0.98
285	1422.5	1.59	1267.14	1.11	-30.71	617565.23	0.99
286	1427.5	-1.28	1266.81	1.05	-26.45	608542.21	0.99
287	1432.5	-3.37	1243.10	0.94	-21.10	587562.30	0.97
288	1437.5	-4.65	1194.03	0.78	-14.84	553859.59	0.99
289	1442.5	-5.15	1118.24	0.60	-7.90	506968.58	0.92
290	1447.5	-4.95	1014.94	0.41	-0.55	443022.66	0.91
291	1452.75	-4.16	875.85	0.21	7.27	360956.44	0.79
292	1458.25	-2.92	698.17	0.02	15.27	378602.66	0.64

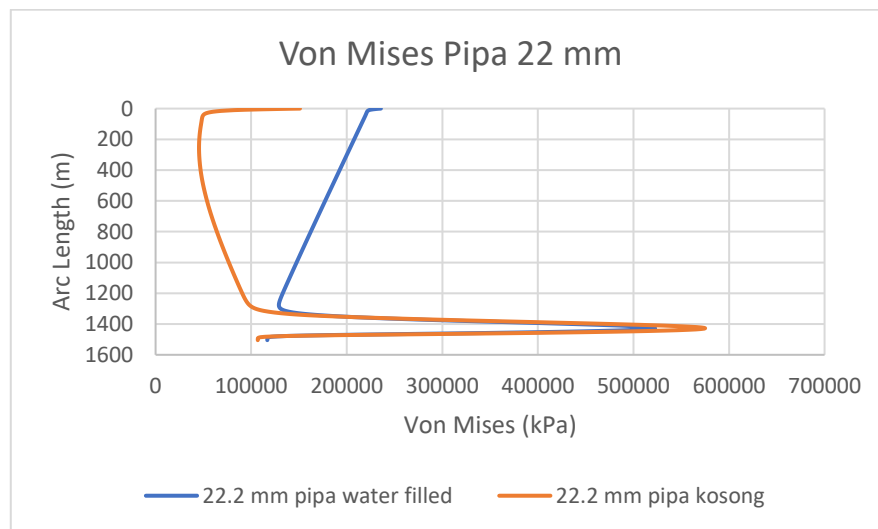
4.11 Perbandingan Pipa Kosong dan Pipa *Water Filled*

Metode water filled sebenarnya digunakan untuk mengurangi tegangan yang terjadi pada pipa di area sagbend, namun memiliki dampak beban di sepanjang pipa karena beban fungsional pipa bertambah. Dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut ini



Gambar 4.8 Perbandingan Tegangan Efektif Fungsional Pipa 22 mm

Dengan bertambahnya beban fungsional, maka tegangan di sepanjang pipa juga berubah. Dari Gambar 4.8 beban fungsional pipa bertambah 6%. Akan tetapi, terlihat pada Gambar 4.9 dibawah ini stress yang terjadi pada area sagbend lebih kecil dibandingkan pipa kosong.



Gambar 4.9 Von Mises Pipa 22 mm

Dari grafik tersebut, terlihat tegangan yang terjadi pada pipa water filled pada area sagbend lebih kecil 9% dibandingkan tegangan pipa kosong. Namun tegangan yang terjadi pada ujung pipa naik sebesar 35%.

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kondisi instalasi dan operasional merupakan kondisi paling kritis yang harus diperhatikan pada pipa laut dalam. Hal ini dikarenakan kombinasi pembebanan yang terjadi sepanjang pipa terutama pada daerah sagbend oleh beban fungsional dan lingkungan. Dari hasil analisa yang dilakukan pada tugas akhir ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada kondisi operasional, tebal pipa yang didapat dan memenuhi kriteria baik pressure containment, local buckling, dan buckle propagation adalah 22.2 mm. selain itu pipa juga tidak membutuhkan concrete coating setelah analisis on bottom stability dilakukan.
2. Pada instalasi pipa kosong, tebal pipa pada kondisi operasional tidak memenuhi kriteria Load Controlled Condition menurut DNV-OS-F101. Pipa harus dipertebal hingga 28.4 mm. Tegangan yang terjadi pada tebal tersebut dapat dilihat pada tabel, tegangan maksimum terjadi pada segmen 285 pada daerah sagbend sebesar 530932.15 kPa.
3. Pada Instalasi pipa dengan keadaan water filled, tebal pipa saat kondisi operasional juga tidak memenuhi kriteria LCC. Pipa harus dipertebal hingga 25.4 mm agar kriteria dapat dipenuhi. Tegangan yang terjadi disepanjang pipa pada kondisi ini juga dapat dilihat pada tabel. Tegangan maksimum terjadi pada segmen 286 pada daerah sagbend sebesar 617565.23 kPa.

5.2 Saran

Berikut ini merupakan saran – saran yang dapat penulis berikan untuk dapat mengembangkan tugas akhir ini menjadi lebih baik.

1. Memodelkan kontur seabed yang sebenarnya. Agar tegangan pipa akibat seabed yang tidak rata dapat masuk dalam analisis.

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Asian, Chandra., 2013, *Perencanaan transportasi crude oil dengan moda pipa bawah laut operator Pt. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java*, Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan-ITS, Surabaya.
- Bai, Yong and Qiang Bai., 2014. *Subsea Pipeline Design, Analysis, and Installation*, Gulf Professional Publication. USA.
- Braestrup, Mikael W, Jan B.A, Lars W.A., Mads B., 2005, *Design and Installation of Marine Pipelines*, Blackwell Publishing Company, Oxford, UK.
- Chakrabarti., 1987, *Hydrodynamics of Offshore Structures*, WIT Press, Southampton, UK.
- Det Norske Veritas. DNV 2014. Offshore standard DNV-OS-F101: *submarine pipeline systems*. Hovik, Norway: Det Norske Veritas, DNV.
- Fallqvist, Bjorn., 2009, *Collapse of Thick Deepwater Pipelines due to Hydrostatic Pressure*, Department of Solid Mechanics, Royal Institute of Technology, Sweden.
- Faltinsen, O., 1990, *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Gudmestad, O.T., 2012, *Marine Technology and Design Compendium*, University of Stavanger, Stavanger, Norway.
- Guo, Boyun, Shanhong S, Jacob C, Ali G., 2013, *Offshore Pipeline*, Gulf professional Publishing, UK.
- Hendryanti, Jihan., 2013, *Comparisons of S-Lay and J-Lay Method for Pipeline Installation in Ultra Deep water*, Marine and Subsea Technology, Universitet I Stavanger, Norway.
- Jensen, Gulik Anthon., 2010, *Offshore Pipeline Dynamics*, Norwegian University of Science and Technology, Norway

- Kennedy, John., 1984, *Oil and Gas Pipeline Fundamentals*, PennWell Pub. Co., Tulsa, Oklahoma.
- Koto, Abdul Khair, Ali Selamat., 2015, Ultra Deep Water Subsea pipeline Design and Assessment, *International Society of Ocean, Mechanical and Aerospace - scientist and engineers-*, vol 2, hh. 38-43.
- Kyriakides, Stelios and Edmundo Corona., 2007, *Mechanics of Offshore Pipelines vol.I Buckling and Collapse*, Oxford, UK.
- Langhelle, Morten., 2011, *Pipelines for Development at Deep Water Fields*, Marine and Subse Technology, Universitet I Stavanger, Norway.
- Liu, Henry., 2003, *Pipeline Engineering*, Lewis Publisher, New York.
- Mousselli, 1981, *Offshore Pipeline Design, Analysis, and Method*, PennWell Books, Tulsa, Okla.
- Ramadhan, Olivia., 2014, *Analisa Tegangan pipeline terhadap fix stinger pada saat instalasi dilaut dangkal area TN-DX62r*, Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan-ITS, Surabaya.
- Rizaldy, Armando., 2011, *Analisa Buckling pada saat instalasi pipa bawah laut: studi kasus saluran pipa baru “karmila-titi” milik cnooc di offshore south east Sumatera*, Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan-ITS, Surabaya.
- Silalahi, Ibrando., 2010, *Analisa Instalasi baru pipa penyalur BBM bawah laut milik Pt. Pertamina semarang, ,* Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan-ITS, Surabaya.
- Senthil, Paneer Selvam., 2015, Dynamic Analysis of a J-Lay Pipeline, *Procedia Engineering*, vol 116, page. 730-737.
- Soegiono., 2007, *Pipa Laut*, Airlangga University Press, Surabaya.

Williams., Bruton, Rodda., 2001, *Deepwater Pipeline Design Against Collapse Under External Pressure*, Conference: Offshore Pipeline Technology Conference, Amsterdam.

Xu, Gong, Bao, Zhong, Yan., 2014, Numerical Modelling on Dynamic Behavior of Deepwater S-Lay Pipeline, *Ocean Engineering*, vol 88, page 393-408.

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN WALL THICKNESS

Input Data

$$hnom := 1426 \text{ } m$$

$hmax1 := 1432 \text{ m}$ 100yr rtn period

$$hmin := 1425 \text{ m}$$

$$Pd := 24000000 \text{ } Pa$$

$$\gamma_{inc} := 1.1$$

$$href := -1426 \text{ } m$$

$$Pt := 1.4 \cdot Pd = (3.36 \cdot 10^7) \text{ Pa}$$

$$g := 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$D := 355.6 \text{ mm}$$

$$t_{fab} := 1.5 \text{ mm}$$

$$t_{corr} := 5 \text{ mm}$$

$$f_0 := 0.03$$

$$\alpha A := 1$$

$$\alpha_{fab} := 0.95$$

$$fc := 5$$

$$1 = A$$

$$2 = B$$

$$3 = C$$

$4 = D$

$$5 = E$$

$lc := 2$

Fluid Classification

$lc := 2$

Location Class

Location	Definition
1	The area where no frequent human activity is anticipated along the pipeline route
2	The part of the pipeline/riser in the near platform (manned) area or in areas with frequent human activity. The extent of location class 2 should be based on appropriate risk analyses. If no such analyses are performed a minimum horizontal distance of 500 m shall be adopted.

$$\rho_{cont} := 213 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{sw} := 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho t := 1025 \frac{kg}{m^3}$$

$$SMYS := 450 \text{ MPa}$$

$$SMTS := 535 \text{ MPa}$$

$$f_{y_temp} := 9 \text{ MPa}$$

$$f_{u_temp} := 9 \text{ MPa}$$

$$\alpha U := 1$$

$$f_y := (SMYS - f_{y_temp}) \cdot \alpha U = 441 \text{ MPa}$$

$$f_u := (SMTS - f_{u_temp}) \cdot \alpha U = 526 \text{ MPa}$$

$$E := 207000 \text{ MPa}$$

$$v := 0.3$$

Category	Description
A	Typical non-flammable water-based fluids
B	Flammable and or toxic fluids which are liquids at ambient temperature and atmospheric pressure conditions. Typical examples are oil and petroleum products. Methanol is an example of a flammable and toxic fluid.
C	Non-flammable fluids which are non-toxic gases at ambient temperature and atmospheric pressure conditions. Typical examples are nitrogen, carbon dioxide, argon, and air.
D	Non-toxic, single-phase natural gas
E	Flammable and/or toxic fluids which are gases at ambient temperature pressure conditions and which are conveyed as gases and/or liquids. Typical examples would be hydrogen, natural gas (not otherwise covered under category D), ethanic, ethylene, liquified petroleum gas (such as propane and butane), natural gas liquids, ammonia, and chlorine.

Phase	Fluid Category A, C		Fluid Category B, D, and E	
	Location Class		Location Class	
	1	2	1	2
Temporary	Low	Low	-	-
Operational	Low	Medium	Medium	High

$$\begin{aligned}
 sc := & \text{if } (fc = 1 \vee fc = 3) \wedge lc = 1 &= 3 & \text{Safety Class} \\
 & \parallel 1 & & 1=\text{low} \quad 2=\text{med} \quad 3=\text{high} \\
 & \text{else if } (fc = 1 \vee fc = 3) \wedge lc = 2 & & \\
 & \parallel 2 & & \\
 & \text{else if } (fc = 2 \vee fc = 4 \vee fc = 5) \wedge lc = 1 & & \\
 & \parallel 2 & & \\
 & \text{else} & & \\
 & \parallel 3 & &
 \end{aligned}$$

Faktor Resistensi Material, γ_m		
Limit State Category	SLS/ULS/ALS	FLS
Γ_m	1.15	1

$$\gamma_m := 1.15$$

Faktor Resistensi Safety Class			
Safety Class	Γ_{sc}		
	Low	Medium	High
Pressure Containment	1.046	1.138	1.308
Other	1.04	1.14	1.26

$$\begin{aligned}
 \gamma_{sc1} := & \text{if } sc = 1 &= 1.308 & \text{Pressure Containment} \\
 & \parallel 1.046 & & \\
 & \text{else if } sc = 2 & & \\
 & \parallel 1.138 & & \\
 & \text{else} & & \\
 & \parallel 1.308 & &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_{sc2} := & \text{if } sc = 1 &= 1.26 & \text{Other} \\
 & \parallel 1.04 & & \\
 & \text{else if } sc = 2 & & \\
 & \parallel 1.14 & & \\
 & \text{else} & & \\
 & \parallel 1.26 & &
 \end{aligned}$$

$$\gamma_{sc3} := 1.046$$

Local Pressure-Pressure
Containment Operating

$P_{inc} := P_d \cdot \gamma_{inc} = (2.64 \cdot 10^7) \text{ Pa}$
 $P_{li} := P_{inc} + \rho_{cont} \cdot g \cdot (h_{ref} + h_{nom}) = 264 \text{ bar}$
 $P_{ld} := P_d + \rho_{cont} \cdot g \cdot (h_{ref} + h_{nom}) = 240 \text{ bar}$
 $P_{e_max1} := \rho_{sw} \cdot g \cdot h_{max1} = 143.844 \text{ bar}$
 $P_{e_min} := \rho_{sw} \cdot g \cdot h_{min} = 143.141 \text{ bar}$

$\alpha_{spt} := 1.05$
 $P_{lt} := \alpha_{spt} \cdot P_{li} = (2.772 \cdot 10^7) \text{ Pa}$
 $\alpha_{mpt} := 1.251$

Pipeline System harus dilakukan system pressure
test dan memenuhi persamaan

$P_{lt} \geq \alpha_{spt} P_{li}$

if $P_{lt} \geq \alpha_{spt} \cdot P_{li}$ = “Memenuhi”
|| “Memenuhi”
else
|| “Tidak”

Table 5-9 Pressure Test Factors			
Safety class during operation	Low	Medium	High
α_{mpt} ¹⁾	1.000	1.088	1.251
α_{spt}	1.03	1.05	1.05

1) This factor is given by:

$$\frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot 0.96}{2/\sqrt{3}}$$

Pressure Containment (Bursting)- Operasi

$$tnomb_o := 12.75 \text{ mm}$$

$$t1 := tnomb_o - tfab - tcorr = 6.25 \text{ mm}$$

$$fcb := \min\left(fy, \frac{fu}{1.15}\right) = (4.41 \cdot 10^8) \text{ Pa}$$

$$Pb := \frac{(2 \cdot t1)}{D - t1} \cdot fcb \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = (1.822 \cdot 10^7) \text{ Pa}$$

$$Ph := 1.4 \cdot Pd = (3.36 \cdot 10^7) \text{ Pa}$$

$$Plh := Ph + \rho_{sw} \cdot g \cdot (href + hnom) = (3.36 \cdot 10^7) \text{ Pa}$$

$$\text{if } (Plh - Pe_min) \leq \min\left(\frac{Pb}{\gamma_m \cdot \gamma_{sc1}}, \frac{Plt}{\alpha_{spt}}\right) = \text{"Memenuhi"} \\ \parallel \text{"Memenuhi"} \\ \text{else} \\ \parallel \text{"Tidak"}$$

Pressure Containment (Bursting)- System Pressure Test

$$tnomb_spt := 7.98 \text{ mm}$$

$$t1 := tnomb_spt - tfab = 6.48 \text{ mm}$$

$$fcb := \min\left(fy, \frac{fu}{1.15}\right) = (4.41 \cdot 10^8) \text{ Pa}$$

$$Pb := \frac{(2 \cdot t1)}{D - t1} \cdot fcb \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = 189.033 \text{ bar}$$

$$Ph := 1.25 \cdot Pd = (3 \cdot 10^7) \text{ Pa}$$

$$Plh := Ph + \rho_{sw} \cdot g \cdot (href + hnom) = 300 \text{ bar}$$

$$\text{if } (Plh - Pe_min) \leq \min\left(\frac{Pb}{\gamma_m \cdot \gamma_{sc3}}, Plh\right) = \text{"Memenuhi"} \\ \parallel \text{"Memenuhi"} \\ \text{else} \\ \parallel \text{"Tidak"}$$

Local Buckling - External Overpressure Only (System Collapse)
-Operasi

$$tnomc_o := 22.2 \text{ mm} = 0.022 \text{ m}$$

$$t2 := tnomc_o - tcorr = 17.2 \text{ mm}$$

$$Pel := \frac{\left(2 \cdot E \cdot \left(\frac{t2}{D}\right)^3\right)}{1 - v^2} = 514.824 \text{ bar}$$

$$Pp := fy \cdot \alpha fab \cdot 2 \cdot \frac{t2}{D} = 405.283 \text{ bar}$$

$$b := -Pel = -5.148 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

$$c := -\left(Pp^2 + Pp \cdot Pel \cdot f0 \cdot \frac{D}{t2}\right) = -2.937 \cdot 10^{15} \text{ Pa}^2$$

$$d := Pel \cdot Pp^2 = (8.456 \cdot 10^{22}) \text{ Pa}^3$$

$$u := \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{-1}{3} \cdot b^2 + c\right) = -1.273 \cdot 10^{15} \text{ Pa}^2$$

$$x := \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2}{27} \cdot b^3 - \left(\frac{1}{3} \cdot b \cdot c\right) + d\right) = (1.203 \cdot 10^{22}) \text{ Pa}^3$$

$$\phi := \arccos\left(\frac{-x}{\sqrt{-u^3}}\right) = 1.839$$

$$y := -2 \cdot \sqrt{-u} \cdot \cos\left(\frac{\phi}{3} + 60 \cdot \frac{\pi}{180}\right) = (6.366 \cdot 10^6) \text{ Pa}$$

$$Pc := y - \frac{1}{3} \cdot b = (2.353 \cdot 10^7) \text{ Pa}$$

$$\text{if } Pe_{max1} \leq \frac{Pc}{1.1 \cdot \gamma m \cdot \gamma sc2} = \text{"Memenuhi"}$$

$$\begin{array}{l} \text{|| "Memenuhi"} \\ \text{else} \\ \text{|| "Tidak"} \end{array}$$

Propagation Buckling- Operation

$$tnompb_o := 30.83 \text{ mm}$$

$$t2o := tnompb_o - tcorr = 0.026 \text{ m}$$

$$Ppr1 := 35 \cdot fy \cdot \alpha_{fab} \cdot \left(\frac{t2o}{D} \right)^{2.5} = (2.085 \cdot 10^7) \text{ Pa}$$

$$\text{if } Pe_{max1} \leq \frac{Ppr1}{\gamma_m \cdot \gamma_{sc2}} \quad \Bigg| = \text{"Memenuhi"}$$

$\Bigg|$ "Memenuhi"

else

$\Bigg|$ "Tidak"

Vertical Stability

“Input”

$$OD := 14 \text{ in}$$

Diameter Luar

$$OD = 0.356 \text{ m}$$

$$WT := 22.2 \text{ mm}$$

Tebal Pipa

$$WT = 0.022 \text{ m}$$

$$\gamma_w \cdot \frac{b}{w_s + b} = \frac{\gamma_w}{s_g} \leq 1.00$$

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Percepatan Gravitasi

$$\pi := 3.14$$

$$\rho_{air} := 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densitas air laut

$$\rho_{pipa} := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densitas Baja

$$AOD := \frac{1}{4} \cdot OD^2 \cdot \pi = 0.099 \text{ m}^2$$

Luas Pipa Luar

$$AID := \frac{1}{4} \cdot (OD - (2 \cdot WT))^2 \cdot \pi = 0.076 \text{ m}^2$$

Luas Pipa Dalam

$$W_{pipe} := \rho_{pipa} \cdot g \cdot (AOD - AID) = (1.79 \cdot 10^3) \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Berat Pipa

$$B := \rho_{air} \cdot g \cdot AOD = 998.128 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Buoyancy

$$\gamma_w := 1.1 \quad \text{Safety Factor}$$

$$W_{sub} := W_{pipe} - B = 791.6 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Berat Pipa Tercelup

$$\text{if } \gamma_w \cdot \frac{B}{(W_{sub} + B)} \leq 1 = \text{“Memenuhi”}$$

|| “Memenuhi”

else

|| “Tidak”

Lateral Stabiity

"Input"

$H_s := 2.75 \text{ m}$ Tinggi Gelombang Signifikan

$T_p := 10.5 \text{ s}$ Spectral Peak Period

$d := 1426 \text{ m}$ Depth

$U_r := 0.01 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ Refference Steady Velocity

$d_{50} := 0.0039 \text{ mm}$ Grain Size

$Z_0 := 3.25 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ Grain Roughness

$Z_r := 7 \text{ in}$

$C_l := 0.9$ Coefisien Lift

$C_d := 0.7$ Coefisien Drag

$C_m := 3.29$ Coefisien Inertia Force

$$T_n := \left(\frac{d}{g} \right)^{0.5} = 12.057 \text{ s}$$

$$\frac{T_n}{T_p} = 1.148$$

$$a := 0.001$$

$$U_s := \left(\frac{H_s}{T_n} \right) \cdot 0.001 = (2.281 \cdot 10^{-4}) \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ Water Particle Velocities}$$

$$b := 1.842$$

$$T_u := T_p \cdot b = 19.341 \text{ s} \text{ Periode Zero Up-Crossing}$$

$$\frac{OD}{Z_0} = 1.094 \cdot 10^5$$

$$\frac{Z_r}{Z_0} = 5.471 \cdot 10^4$$

$$c := \left(\frac{1}{\ln \left(\frac{Z_r}{Z_0} + 1 \right)} \right) \cdot \left(\left(1 + \left(\frac{1}{\frac{OD}{Z_0}} \right) \right) \cdot \ln \left(\frac{OD}{Z_0} + 1 \right) - 1 \right) = 0.972$$

$$U_d := c \cdot U_r = 0.01 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ Average Velocities Across the pipe}$$

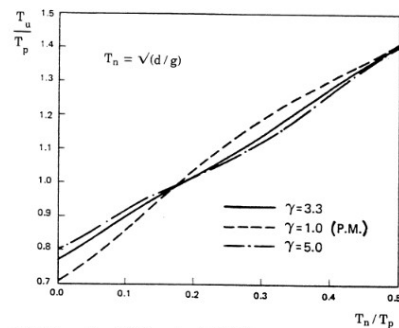
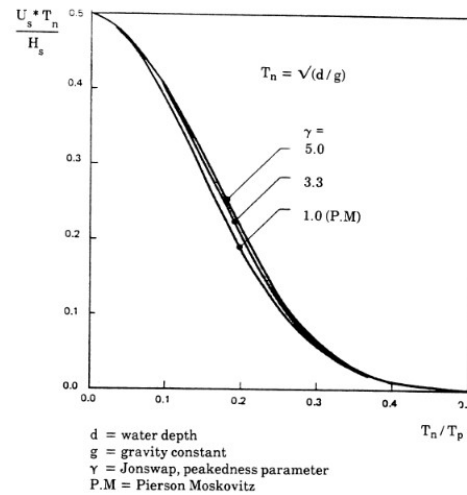


Fig. 2.2 Zero-Up-Crossing Period, T_u

$$As := 2 \cdot \pi \cdot \frac{Us}{Tu} = (7.406 \cdot 10^{-5}) \frac{m}{s^2} \quad \text{Significant Acceleration}$$

$$M := \frac{Ud}{Us} = 42.609 \quad \text{Current Wave Velocity Ratio}$$

$$K := Us \cdot \frac{Tp}{OD} = 0.007 \quad \text{Load Parameter}$$

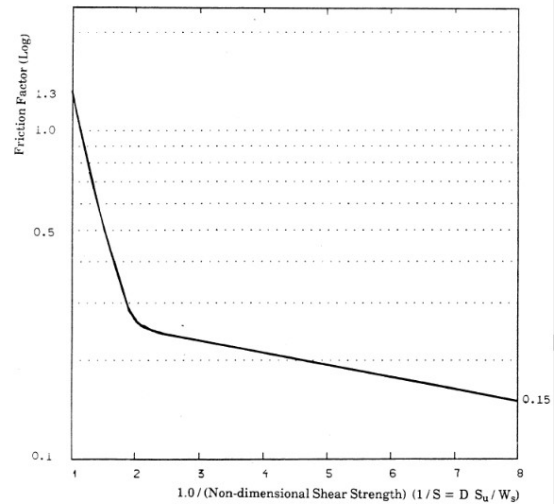
$$Fw := 1$$

$$Su := 4.16 \quad \text{Undrained Shear Strength of clay soil}$$

$$S := \frac{Wsub}{OD \cdot Su} = 535.119 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

$$x := \frac{1}{S} = 0.002 \frac{m \cdot s^2}{kg}$$

$$\mu := 1.3 \quad \text{Friction Factor}$$

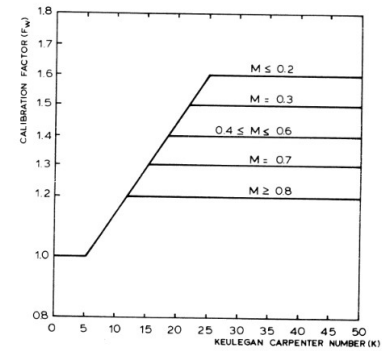


$$Fl := \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot OD \cdot Cl \cdot (Us \cdot \cos(90 \text{ deg}) + Ud)^2 = 0.015 \frac{N}{m}$$

$$Fd := \frac{1}{2} \rho_{air} \cdot OD \cdot Cd \cdot (Us \cdot \cos(90 \text{ deg}) + Ud)^2 = 0.012 \frac{N}{m}$$

$$Fi := \frac{(\pi \cdot OD^2)}{4} \cdot \rho_{air} \cdot Cm \cdot As \cdot \sin(90 \text{ deg}) = 0.025 \frac{N}{m}$$

$$Ws := \left(\frac{((Fd + Fi) + \mu \cdot Fl)}{\mu} \right) \cdot Fw = 0.044 \frac{N}{m}$$



if $Wsub \geq Ws$ | = "Memenuhi"
 || "Memenuhi"
 else
 || "Tidak"

LAMPIRAN B
OUTPUT ORCAFLEX

PIPA KOSONG 22.2 mm

Mid-Segment Loads; * indicates seabed contact								
Segment	Arc Length (m)	Effective Tension (kN)	Shear Force (kN)	Bend Radius (m)	Curvature (rad/m)	Bend Moment (kN.m)	Wall Tension (kN)	Max von Mises Stress (kPa)
1	3	1103.81	4.13	1951.38	0.00	34.17	1099.32	66735.36
2	8	1099.93	2.19	3631.66	0.00	18.36	1090.46	57842.57
3	13	1096.06	1.17	6690.50	0.00	9.97	1081.59	53044.88
4	18	1092.18	0.62	12125.37	0.00	5.50	1072.73	50416.85
5	23	1088.30	0.33	21412.21	0.00	3.11	1063.86	48939.95
6	28	1084.42	0.18	36358.39	0.00	1.83	1054.99	48074.78
7	33	1080.54	0.10	58448.82	0.00	1.14	1046.13	47535.45
8	38	1076.66	0.05	87754.50	0.00	0.76	1037.26	47170.24
9	43	1072.78	0.03	122344.72	0.00	0.55	1028.40	46910.07
10	48	1068.90	0.02	159256.69	0.00	0.42	1019.53	46709.57
11	53	1065.02	0.01	196376.84	0.00	0.34	1010.66	46535.08
12	58	1061.14	0.01	233497.85	0.00	0.29	1001.80	46376.00
13	63	1057.27	0.01	272135.34	0.00	0.25	992.93	46226.68
14	68	1053.39	0.01	314989.90	0.00	0.21	984.07	46084.16
15	73	1049.51	0.01	365770.67	0.00	0.18	975.20	45946.88
16	78	1045.63	0.01	429543.18	0.00	0.16	966.33	45814.10
17	83	1041.75	0.00	513505.99	0.00	0.13	957.47	45685.53
18	88	1037.87	0.00	627693.03	0.00	0.11	948.60	45561.24
19	93	1033.99	0.00	782785.25	0.00	0.09	939.73	45441.63
20	98	1030.11	0.00	972465.60	0.00	0.07	930.87	45327.63
21	103	1026.23	0.00	1149007.06	0.00	0.06	922.00	45220.02
22	108	1022.35	0.00	1270345.50	0.00	0.05	913.14	45118.30
23	113	1018.47	0.00	1343072.93	0.00	0.05	904.27	45021.41
24	118	1014.59	0.00	1381436.62	0.00	0.05	895.40	44928.77
25	123	1010.72	0.00	1398351.22	0.00	0.05	886.54	44840.07
26	128	1006.84	0.00	1402786.64	0.00	0.05	877.67	44755.18
27	133	1002.96	0.00	1400242.68	0.00	0.05	868.80	44674.01
28	138	999.08	0.00	1393883.50	0.00	0.05	859.94	44596.54
29	143	995.20	0.00	1385470.01	0.00	0.05	851.07	44522.75
30	148	991.32	0.00	1375965.38	0.00	0.05	842.21	44452.65
31	153	987.44	0.00	1365891.80	0.00	0.05	833.34	44386.26
32	158	983.56	0.00	1355531.20	0.00	0.05	824.47	44323.57
33	163	979.68	0.00	1345035.49	0.00	0.05	815.61	44264.61

34	168	975.80	0.00	1334486.50	0.00	0.05	806.74	44209.39
35	173	971.92	0.00	1323928.30	0.00	0.05	797.87	44157.92
36	178	968.04	0.00	1313384.65	0.00	0.05	789.01	44110.22
37	183	964.17	0.00	1302868.38	0.00	0.05	780.14	44066.29
38	188	960.29	0.00	1292386.41	0.00	0.05	771.28	44026.15
39	193	956.41	0.00	1281942.47	0.00	0.05	762.41	43989.81
40	198	952.53	0.00	1271538.59	0.00	0.05	753.54	43957.27
41	203	948.65	0.00	1261175.86	0.00	0.05	744.68	43928.55
42	208	944.77	0.00	1250854.88	0.00	0.05	735.81	43903.66
43	213	940.89	0.00	1240575.98	0.00	0.05	726.95	43882.59
44	218	937.01	0.00	1230339.32	0.00	0.05	718.08	43865.36
45	223	933.13	0.00	1220145.00	0.00	0.05	709.21	43851.97
46	228	929.25	0.00	1209993.06	0.00	0.06	700.35	43842.43
47	233	925.37	0.00	1199883.55	0.00	0.06	691.48	43836.73
48	238	921.50	0.00	1189816.47	0.00	0.06	682.62	43834.88
49	243	917.62	0.00	1179791.83	0.00	0.06	673.75	43836.87
50	248	913.74	0.00	1169809.63	0.00	0.06	664.88	43842.71
51	253	909.86	0.00	1159869.88	0.00	0.06	656.02	43852.40
52	258	905.98	0.00	1149972.57	0.00	0.06	647.15	43865.93
53	263	902.10	0.00	1140117.70	0.00	0.06	638.28	43883.31
54	268	898.22	0.00	1130305.28	0.00	0.06	629.42	43904.51
55	273	894.34	0.00	1120535.31	0.00	0.06	620.55	43929.55
56	278	890.46	0.00	1110807.77	0.00	0.06	611.69	43958.41
57	283	886.58	0.00	1101122.68	0.00	0.06	602.82	43991.09
58	288	882.70	0.00	1091480.03	0.00	0.06	593.95	44027.57
59	293	878.82	0.00	1081879.81	0.00	0.06	585.09	44067.85
60	298	874.95	0.00	1072322.04	0.00	0.06	576.22	44111.92
61	303	871.07	0.00	1062806.70	0.00	0.06	567.36	44159.76
62	308	867.19	0.00	1053333.80	0.00	0.06	558.49	44211.37
63	313	863.31	0.00	1043903.33	0.00	0.06	549.62	44266.73
64	318	859.43	0.00	1034515.29	0.00	0.06	540.76	44325.82
65	323	855.55	0.00	1025169.69	0.00	0.07	531.89	44388.64
66	328	851.67	0.00	1015866.52	0.00	0.07	523.03	44455.16
67	333	847.79	0.00	1006605.78	0.00	0.07	514.16	44525.38
68	338	843.91	0.00	997387.47	0.00	0.07	505.29	44599.26
69	343	840.03	0.00	988211.59	0.00	0.07	496.43	44676.80
70	348	836.15	0.00	979078.13	0.00	0.07	487.56	44757.97
71	353	832.27	0.00	969987.10	0.00	0.07	478.70	44842.76
72	358	828.39	0.00	960938.49	0.00	0.07	469.83	44931.14
73	363	824.52	0.00	951932.30	0.00	0.07	460.96	45023.09
74	368	820.64	0.00	942968.54	0.00	0.07	452.10	45118.60

75	373	816.76	0.00	934047.20	0.00	0.07	443.23	45217.63
76	378	812.88	0.00	925168.28	0.00	0.07	434.37	45320.17
77	383	809.00	0.00	916331.77	0.00	0.07	425.50	45426.20
78	388	805.12	0.00	907537.68	0.00	0.07	416.63	45535.68
79	393	801.24	0.00	898786.01	0.00	0.07	407.77	45648.59
80	398	797.36	0.00	890076.75	0.00	0.07	398.90	45764.91
81	403	793.48	0.00	881409.90	0.00	0.08	390.04	45884.61
82	408	789.60	0.00	872785.47	0.00	0.08	381.17	46007.67
83	413	785.72	0.00	864203.44	0.00	0.08	372.30	46134.06
84	418	781.84	0.00	855663.83	0.00	0.08	363.44	46263.75
85	423	777.97	0.00	847166.62	0.00	0.08	354.57	46396.71
86	428	774.09	0.00	838711.82	0.00	0.08	345.71	46532.91
87	433	770.21	0.00	830299.42	0.00	0.08	336.84	46672.34
88	438	766.33	0.00	821929.42	0.00	0.08	327.97	46814.95
89	443	762.45	0.00	813601.83	0.00	0.08	319.11	46960.72
90	448	758.57	0.00	805316.63	0.00	0.08	310.24	47109.62
91	453	754.69	0.00	797073.84	0.00	0.08	301.38	47261.62
92	458	750.81	0.00	788873.44	0.00	0.08	292.51	47416.69
93	463	746.93	0.00	780715.44	0.00	0.09	283.64	47574.81
94	468	743.05	0.00	772599.83	0.00	0.09	274.78	47735.93
95	473	739.17	0.00	764526.62	0.00	0.09	265.91	47900.03
96	478	735.29	0.00	756495.80	0.00	0.09	257.05	48067.08
97	483	731.42	0.00	748507.36	0.00	0.09	248.18	48237.05
98	488	727.54	0.00	740561.32	0.00	0.09	239.31	48409.91
99	493	723.66	0.00	732657.66	0.00	0.09	230.45	48585.63
100	498	719.78	0.00	724796.39	0.00	0.09	221.58	48764.17
101	503	715.90	0.00	716977.49	0.00	0.09	212.72	48945.51
102	508	712.02	0.00	709200.99	0.00	0.09	203.85	49129.62
103	513	708.14	0.00	701466.86	0.00	0.10	194.99	49316.45
104	518	704.26	0.00	693775.11	0.00	0.10	186.12	49505.99
105	523	700.38	0.00	686125.73	0.00	0.10	177.25	49698.20
106	528	696.50	0.00	678518.73	0.00	0.10	168.39	49893.06
107	533	692.62	0.00	670954.11	0.00	0.10	159.52	50090.52
108	538	688.74	0.00	663431.85	0.00	0.10	150.66	50290.56
109	543	684.86	0.00	655951.97	0.00	0.10	141.79	50493.15
110	548	680.99	0.00	648514.45	0.00	0.10	132.92	50698.26
111	553	677.11	0.00	641119.30	0.00	0.10	124.06	50905.86
112	558	673.23	0.00	633766.51	0.00	0.11	115.19	51115.91
113	563	669.35	0.00	626456.09	0.00	0.11	106.33	51328.40
114	568	665.47	0.00	619188.02	0.00	0.11	97.46	51543.28
115	573	661.59	0.00	611962.32	0.00	0.11	88.59	51760.53

116	578	657.71	0.00	604778.97	0.00	0.11	79.73	51980.11
117	583	653.83	0.00	597637.97	0.00	0.11	70.86	52202.01
118	588	649.95	0.00	590539.33	0.00	0.11	62.00	52426.18
119	593	646.07	0.00	583483.03	0.00	0.11	53.13	52652.60
120	598	642.19	0.00	576469.09	0.00	0.12	44.27	52881.25
121	603	638.31	0.00	569497.49	0.00	0.12	35.40	53112.09
122	608	634.43	0.00	562568.23	0.00	0.12	26.53	53345.09
123	613	630.56	0.00	555681.32	0.00	0.12	17.67	53580.23
124	618	626.68	0.00	548836.74	0.00	0.12	8.80	53817.47
125	623	622.80	0.00	542034.50	0.00	0.12	-0.06	54056.80
126	628	618.92	0.00	535274.60	0.00	0.12	-8.93	54298.18
127	633	615.04	0.00	528557.03	0.00	0.13	-17.80	54541.58
128	638	611.16	0.00	521881.79	0.00	0.13	-26.66	54786.99
129	643	607.28	0.00	515248.88	0.00	0.13	-35.53	55034.36
130	648	603.40	0.00	508658.29	0.00	0.13	-44.39	55283.68
131	653	599.52	0.00	502110.02	0.00	0.13	-53.26	55534.92
132	658	595.64	0.00	495604.08	0.00	0.13	-62.12	55788.06
133	663	591.76	0.00	489140.45	0.00	0.14	-70.99	56043.06
134	668	587.88	0.00	482719.14	0.00	0.14	-79.86	56299.91
135	673	584.00	0.00	476340.14	0.00	0.14	-88.72	56558.57
136	678	580.13	0.00	470003.45	0.00	0.14	-97.59	56819.02
137	683	576.25	0.00	463709.07	0.00	0.14	-106.45	57081.25
138	688	572.37	0.00	457456.99	0.00	0.15	-115.32	57345.21
139	693	568.49	0.00	451247.21	0.00	0.15	-124.18	57610.90
140	698	564.61	0.00	445079.73	0.00	0.15	-133.05	57878.29
141	703	560.73	0.00	438954.54	0.00	0.15	-141.92	58147.34
142	708	556.85	0.00	432871.65	0.00	0.15	-150.78	58418.05
143	713	552.97	0.00	426831.05	0.00	0.16	-159.65	58690.39
144	718	549.09	0.00	420832.73	0.00	0.16	-168.51	58964.33
145	723	545.21	0.00	414876.69	0.00	0.16	-177.38	59239.85
146	728	541.33	0.00	408962.93	0.00	0.16	-186.25	59516.93
147	733	537.45	0.00	403091.45	0.00	0.17	-195.11	59795.56
148	738	533.57	0.00	397262.24	0.00	0.17	-203.98	60075.70
149	743	529.69	0.00	391475.30	0.00	0.17	-212.84	60357.33
150	748	525.82	0.00	385730.63	0.00	0.17	-221.71	60640.45
151	753	521.94	0.00	380028.21	0.00	0.18	-230.57	60925.01
152	758	518.06	0.00	374368.06	0.00	0.18	-239.44	61211.02
153	763	514.18	0.00	368750.15	0.00	0.18	-248.31	61498.44
154	768	510.30	0.00	363174.50	0.00	0.18	-257.17	61787.25
155	773	506.42	0.00	357641.09	0.00	0.19	-266.04	62077.44
156	778	502.54	0.00	352149.92	0.00	0.19	-274.90	62368.99

157	783	498.66	0.00	346700.99	0.00	0.19	-283.77	62661.88
158	788	494.78	0.00	341294.29	0.00	0.20	-292.63	62956.09
159	793	490.90	0.00	335929.82	0.00	0.20	-301.50	63251.59
160	798	487.02	0.00	330607.57	0.00	0.20	-310.37	63548.38
161	803	483.14	0.00	325327.54	0.00	0.20	-319.23	63846.44
162	808	479.26	0.00	320089.72	0.00	0.21	-328.10	64145.75
163	813	475.38	0.00	314894.11	0.00	0.21	-336.96	64446.28
164	818	471.50	0.00	309740.71	0.00	0.22	-345.83	64748.03
165	823	467.63	0.00	304629.50	0.00	0.22	-354.70	65050.98
166	828	463.75	0.00	299560.48	0.00	0.22	-363.56	65355.10
167	833	459.87	0.00	294533.65	0.00	0.23	-372.43	65660.40
168	838	455.99	0.00	289549.00	0.00	0.23	-381.29	65966.83
169	843	452.11	0.00	284606.53	0.00	0.23	-390.16	66274.41
170	848	448.23	0.00	279706.22	0.00	0.24	-399.02	66583.09
171	853	444.35	0.00	274848.07	0.00	0.24	-407.89	66892.88
172	858	440.47	0.00	270032.08	0.00	0.25	-416.76	67203.76
173	863	436.59	0.00	265258.24	0.00	0.25	-425.62	67515.71
174	868	432.71	0.00	260526.53	0.00	0.26	-434.49	67828.71
175	873	428.83	0.00	255836.96	0.00	0.26	-443.35	68142.76
176	878	424.95	0.00	251189.51	0.00	0.27	-452.22	68457.84
177	883	421.07	0.00	246584.19	0.00	0.27	-461.08	68773.93
178	888	417.19	0.00	242020.96	0.00	0.28	-469.95	69091.02
179	893	413.31	0.00	237499.84	0.00	0.28	-478.82	69409.10
180	898	409.44	0.00	233020.81	0.00	0.29	-487.68	69728.15
181	903	405.56	0.00	228583.86	0.00	0.29	-496.55	70048.16
182	908	401.68	0.00	224188.99	0.00	0.30	-505.41	70369.12
183	913	397.80	0.00	219836.17	0.00	0.30	-514.28	70691.02
184	918	393.92	0.00	215525.41	0.00	0.31	-523.15	71013.84
185	923	390.04	0.00	211256.68	0.00	0.32	-532.01	71337.57
186	928	386.16	0.00	207029.99	0.00	0.32	-540.88	71662.19
187	933	382.28	0.00	202845.31	0.00	0.33	-549.74	71987.71
188	938	378.40	0.00	198702.63	0.00	0.34	-558.61	72314.10
189	943	374.52	0.00	194601.95	0.00	0.34	-567.47	72641.35
190	948	370.64	0.00	190543.25	0.00	0.35	-576.34	72969.45
191	953	366.76	0.00	186526.51	0.00	0.36	-585.21	73298.40
192	958	362.88	0.00	182551.73	0.00	0.37	-594.07	73628.17
193	963	359.00	0.00	178618.88	0.00	0.37	-602.94	73958.77
194	968	355.12	0.00	174727.96	0.00	0.38	-611.80	74290.17
195	973	351.24	0.00	170878.95	0.00	0.39	-620.67	74622.37
196	978	347.36	0.00	167071.84	0.00	0.40	-629.54	74955.36
197	983	343.49	0.00	163306.61	0.00	0.41	-638.40	75289.13

198	988	339.61	0.00	159583.27	0.00	0.42	-647.27	75623.66
199	993	335.73	0.00	155901.80	0.00	0.43	-656.13	75958.96
200	998	331.85	0.00	152262.20	0.00	0.44	-665.00	76295.00
201	1003	327.97	0.00	148664.47	0.00	0.45	-673.86	76631.78
202	1008	324.09	0.00	145108.62	0.00	0.46	-682.73	76969.30
203	1013	320.21	0.00	141594.68	0.00	0.47	-691.60	77307.53
204	1018	316.33	0.00	138122.68	0.00	0.48	-700.46	77646.48
205	1023	312.45	0.00	134692.67	0.00	0.50	-709.33	77986.13
206	1028	308.57	0.00	131304.73	0.00	0.51	-718.19	78326.48
207	1033	304.69	0.00	127958.95	0.00	0.52	-727.06	78667.51
208	1038	300.81	0.00	124655.49	0.00	0.53	-735.93	79009.22
209	1043	296.93	0.00	121394.54	0.00	0.55	-744.79	79351.60
210	1048	293.05	0.00	118176.35	0.00	0.56	-753.66	79694.65
211	1053	289.17	0.00	115001.26	0.00	0.58	-762.52	80038.35
212	1058	285.29	0.00	111869.70	0.00	0.60	-771.39	80382.70
213	1063	281.41	0.00	108782.24	0.00	0.61	-780.26	80727.69
214	1068	277.53	0.00	105739.59	0.00	0.63	-789.12	81073.31
215	1073	273.65	0.00	102742.65	0.00	0.65	-797.99	81419.55
216	1078	269.77	0.00	99792.57	0.00	0.67	-806.85	81766.41
217	1083	265.89	0.00	96890.78	0.00	0.69	-815.72	82113.88
218	1088	262.02	0.00	94039.07	0.00	0.71	-824.59	82461.96
219	1093	258.14	0.00	91239.64	0.00	0.73	-833.45	82810.62
220	1098	254.26	0.00	88495.24	0.00	0.75	-842.32	83159.87
221	1103	250.38	0.00	85809.22	0.00	0.78	-851.18	83509.70
222	1108	246.50	0.00	83185.71	0.00	0.80	-860.05	83860.10
223	1113	242.62	0.01	80629.73	0.00	0.83	-868.92	84211.05
224	1118	238.74	0.01	78147.41	0.00	0.85	-877.78	84562.54
225	1123	234.86	0.01	75746.22	0.00	0.88	-886.65	84914.57
226	1128	230.98	0.01	73435.26	0.00	0.91	-895.52	85267.10
227	1133	227.10	0.01	71225.64	0.00	0.94	-904.38	85620.14
228	1138	223.22	0.01	69130.97	0.00	0.96	-913.25	85973.64
229	1143	219.34	0.01	67168.07	0.00	0.99	-922.11	86327.60
230	1148	215.46	0.01	65357.93	0.00	1.02	-930.98	86681.96
231	1153	211.58	0.01	63727.06	0.00	1.05	-939.85	87036.69
232	1158	207.70	0.00	62309.62	0.00	1.07	-948.71	87391.75
233	1163	203.82	0.00	61150.62	0.00	1.09	-957.58	87747.07
234	1168	199.94	0.00	60311.02	0.00	1.11	-966.45	88102.58
235	1173	196.06	0.00	59876.26	0.00	1.11	-975.31	88458.18
236	1178	192.18	0.00	59971.02	0.00	1.11	-984.18	88813.77
237	1183	188.30	0.00	60786.42	0.00	1.10	-993.05	89169.22

238	1188	184.42	0.01	62633.36	0.00	1.06	- 1001.91	89524.37
239	1193	180.54	0.01	66057.36	0.00	1.01	- 1010.78	89879.03
240	1198	176.66	0.02	72116.16	0.00	0.92	- 1019.64	90232.98
241	1203	172.78	0.03	83172.77	0.00	0.80	- 1028.51	90585.98
242	1208	168.90	0.04	105819.38	0.00	0.63	- 1037.38	90937.74
243	1213	165.02	0.05	168027.05	0.00	0.40	- 1046.24	91287.97
244	1218	161.14	0.07	777490.85	0.00	0.09	- 1055.11	91636.36
245	1223	157.26	0.09	206572.06	0.00	0.32	- 1063.98	92005.79
246	1228	153.38	0.12	78187.16	0.00	0.85	- 1072.84	92386.01
247	1233	149.50	0.15	43484.10	0.00	1.53	- 1081.71	92771.92
248	1238	145.62	0.19	27786.57	0.00	2.40	- 1090.58	93165.17
249	1243	141.74	0.24	19085.25	0.00	3.49	- 1099.44	93568.10
250	1248	137.86	0.30	13703.48	0.00	4.87	- 1108.31	93984.01
251	1253	133.98	0.38	10140.38	0.00	6.58	- 1117.18	94417.57
252	1258	130.10	0.47	7670.15	0.00	8.69	- 1126.04	94875.48
253	1263	126.22	0.58	5900.07	0.00	11.30	- 1134.91	95367.26
254	1268	122.34	0.70	4599.88	0.00	14.50	- 1143.77	95906.43
255	1273	118.46	0.85	3626.31	0.00	18.39	- 1152.64	96512.14
256	1278	114.58	1.03	2886.02	0.00	23.11	- 1161.51	97211.19
257	1283	110.70	1.24	2315.99	0.00	28.79	- 1170.37	98040.78
258	1288	106.82	1.49	1872.41	0.00	35.61	- 1179.24	99051.79
259	1293	102.94	1.77	1524.10	0.00	43.75	- 1188.10	100312.7 6
260	1298	99.05	2.10	1248.44	0.00	53.41	- 1196.97	101914.2 1
261	1303	95.17	2.47	1028.76	0.00	64.82	- 1205.84	103972.8 8
262	1308	91.28	2.89	852.60	0.00	78.21	- 1214.71	106635.1 3

263	1313	87.39	3.37	710.53	0.00	93.85	- 1223.58	110078.2 2
264	1318	83.49	3.90	595.36	0.00	112.01	- 1232.45	114508.3 9
265	1323	79.58	4.48	501.54	0.00	132.96	- 1241.33	120154.4 0
266	1328	75.66	5.13	424.77	0.00	156.99	- 1250.22	127256.5 8
267	1333	71.73	5.82	361.69	0.00	184.37	- 1259.11	136052.1 4
268	1338	67.79	6.57	309.65	0.00	215.35	- 1268.01	146758.9 9
269	1343	63.82	7.36	266.56	0.00	250.16	- 1276.92	160675.3 2
270	1348	59.83	8.17	230.77	0.00	288.96	- 1285.84	179711.5 4
271	1353	55.81	8.99	200.93	0.00	331.87	- 1294.77	201276.9 8
272	1358	51.76	9.81	176.00	0.01	378.87	- 1303.70	225356.6 9
273	1363	47.67	10.59	155.12	0.01	429.88	- 1312.65	251866.5 7
274	1368	43.55	11.31	137.60	0.01	484.62	- 1321.59	280641.0 4
275	1373	39.39	11.92	122.88	0.01	542.67	- 1330.51	311419.2 2
276	1378	35.21	12.38	110.51	0.01	603.40	- 1339.39	343830.7 0
277	1383	31.02	12.64	100.13	0.01	665.94	- 1348.20	377382.4 3
278	1388	26.84	12.66	91.45	0.01	729.20	- 1356.90	411448.5 1
279	1393	22.70	12.38	84.22	0.01	791.80	- 1365.43	445264.9 8
280	1398	18.64	11.76	78.25	0.01	852.14	- 1373.74	477931.8 4
281	1403	14.73	10.74	73.41	0.01	908.38	- 1381.72	508424.4 2
282	1408	11.01	9.30	69.57	0.01	958.47	- 1389.31	535615.6 1
283	1413	7.57	7.42	66.67	0.02	1000.2 6	- 1396.38	558309.8 1
284	1418	4.47	5.09	64.64	0.02	1031.5 3	- 1402.85	575287.4 2
285	1423	1.79	2.34	63.50	0.02	1050.1 3	- 1408.60	585357.6 0
286	1428	-0.42	0.79	63.27	0.02	1054.0 2	- 1413.56	587450.4 2
287	1433	-2.10	4.24	64.03	0.02	1041.4 5	- 1417.65	580670.6 7

288	1438	-3.24	7.96	65.96	0.02	1010.9 6	- 1420.86	564078.7 7
289	1443	-3.84	11.85	69.36	0.01	961.46	- 1423.18	537104.5 2
290	1448	-3.95	15.84	74.74	0.01	892.26	- 1424.65	499407.7 2
291	1453	-3.59	20.07	83.62	0.01	797.47	- 1425.39	447881.0 0
292	1458	-2.85	24.49	98.80	0.01	674.93	- 1425.45	381569.9 4
293	1464	-1.90	28.87	126.25	0.01	528.20	- 1425.00	302955.1 2
294	1469	-0.96	33.19	186.49	0.01	357.57	- 1424.31	213805.7 8
295 *	1475	-0.20	28.29	353.72	0.00	188.52	- 1423.65	140546.9 5
296 *	1480	0.04	15.97	998.23	0.00	66.80	- 1423.43	111713.3 5
297 *	1486	0.02	6.05	10693.51	0.00	6.24	- 1423.42	106974.6 1
298 *	1491	0.00	0.57	5565.37	0.00	11.98	- 1423.43	107086.4 8
299 *	1497	0.00	1.40	6874.03	0.00	9.70	- 1423.42	107031.3 8
300 *	1502	0.00	1.06	22800.84	0.00	2.92	- 1423.41	106937.0 5

PIPA 22.2 mm WATER FILLED

Mid-Segment Loads; * indicates seabed contact								
Segment	Arc Length (m)	Effective Tension (kN)	Shear Force (kN)	Bend Radius (m)	Curvature (rad/m)	Bend Moment (kN.m)	Wall Tension (kN)	Max von Mises Stress (kPa)
1	2.5	634.80	14.46	342.42	0.00	194.74	2854.25	248927.05
2	7.5	632.14	9.67	495.62	0.00	134.54	2847.67	235749.94
3	12.5	629.49	6.55	708.33	0.00	94.14	2840.28	228421.38
4	17.5	626.88	4.50	999.33	0.00	66.73	2832.93	224177.28
5	22.5	624.32	3.12	1390.29	0.00	47.96	2825.62	221575.54
6	27.5	621.80	2.19	1902.36	0.00	35.05	2818.35	219876.83
7	32.5	619.31	1.56	2547.78	0.00	26.17	2811.12	218694.54
8	37.5	616.86	1.11	3316.00	0.00	20.11	2803.92	217819.66
9	42.5	614.43	0.80	4163.51	0.00	16.02	2796.75	217133.46
10	47.5	612.02	0.59	5026.80	0.00	13.27	2789.59	216563.77
11	52.5	609.63	0.43	5862.33	0.00	11.37	2782.46	216063.89
12	57.5	607.26	0.33	6680.01	0.00	9.98	2775.34	215603.02

13	62.5	604.90	0.27	7542.93	0.00	8.84	2768.23	215161.76
14	67.5	602.55	0.23	8551.84	0.00	7.80	2761.13	214728.89
15	72.5	600.21	0.22	9844.43	0.00	6.77	2754.05	214298.76
16	77.5	597.87	0.22	11625.48	0.00	5.74	2746.96	213869.15
17	82.5	595.54	0.22	14250.40	0.00	4.68	2739.89	213439.80
18	87.5	593.22	0.21	18448.81	0.00	3.61	2732.82	213011.43
19	92.5	590.90	0.21	26058.87	0.00	2.56	2725.75	212585.15
20	97.5	588.58	0.20	43488.61	0.00	1.53	2718.69	212162.18
21	102.5	586.26	0.19	116340.0 2	0.00	0.57	2711.62	211744.48
22	107.5	583.95	0.18	140464.3 3	0.00	0.47	2704.57	211378.04
23	112.5	581.64	0.17	50936.53	0.00	1.31	2697.51	211066.46
24	117.5	579.33	0.15	31733.64	0.00	2.10	2690.45	210752.91
25	122.5	577.02	0.14	23657.84	0.00	2.82	2683.40	210435.33
26	127.5	574.72	0.12	19295.14	0.00	3.46	2676.35	210113.24
27	132.5	572.41	0.10	16616.92	0.00	4.01	2669.29	209786.50
28	137.5	570.10	0.09	14845.16	0.00	4.49	2662.24	209455.12
29	142.5	567.80	0.07	13617.86	0.00	4.90	2655.19	209119.25
30	147.5	565.49	0.06	12743.90	0.00	5.23	2648.14	208779.15
31	152.5	563.19	0.05	12113.17	0.00	5.51	2641.09	208435.11
32	157.5	560.89	0.04	11658.38	0.00	5.72	2634.04	208087.46
33	162.5	558.58	0.03	11336.86	0.00	5.88	2626.99	207736.51
34	167.5	556.28	0.02	11120.89	0.00	6.00	2619.94	207382.53
35	172.5	553.98	0.01	10991.97	0.00	6.07	2612.89	207025.78
36	177.5	551.68	0.01	10937.19	0.00	6.10	2605.84	206666.51
37	182.5	549.38	0.01	10946.95	0.00	6.09	2598.79	206304.99
38	187.5	547.07	0.02	11013.65	0.00	6.05	2591.74	205941.52
39	192.5	544.77	0.02	11130.96	0.00	5.99	2584.70	205576.38
40	197.5	542.47	0.02	11293.50	0.00	5.90	2577.65	205209.88
41	202.5	540.17	0.02	11496.47	0.00	5.80	2570.60	204842.30
42	207.5	537.87	0.03	11735.30	0.00	5.68	2563.55	204473.92
43	212.5	535.57	0.03	12005.19	0.00	5.55	2556.50	204104.99
44	217.5	533.27	0.03	12300.89	0.00	5.42	2549.45	203735.78
45	222.5	530.97	0.03	12616.79	0.00	5.29	2542.41	203366.49
46	227.5	528.67	0.03	12947.39	0.00	5.15	2535.36	202997.32
47	232.5	526.37	0.03	13288.04	0.00	5.02	2528.31	202628.38
48	237.5	524.07	0.03	13635.70	0.00	4.89	2521.26	202259.76
49	242.5	521.77	0.02	13989.25	0.00	4.77	2514.21	201891.46
50	247.5	519.47	0.02	14349.30	0.00	4.65	2507.17	201523.47
51	252.5	517.17	0.02	14717.44	0.00	4.53	2500.12	201155.73
52	257.5	514.87	0.02	15094.97	0.00	4.42	2493.07	200788.22

53	262.5	512.57	0.02	15481.55	0.00	4.31	2486.02	200420.94
54	267.5	510.27	0.02	15874.20	0.00	4.20	2478.98	200053.94
55	272.5	507.98	0.02	16266.89	0.00	4.10	2471.93	199687.30
56	277.5	505.68	0.02	16651.21	0.00	4.00	2464.88	199321.10
57	282.5	503.38	0.02	17017.91	0.00	3.92	2457.84	198955.43
58	287.5	501.08	0.02	17359.07	0.00	3.84	2450.79	198590.34
59	292.5	498.78	0.02	17669.93	0.00	3.77	2443.74	198225.83
60	297.5	496.49	0.02	17949.84	0.00	3.71	2436.70	197861.86
61	302.5	494.19	0.01	18201.59	0.00	3.66	2429.65	197498.35
62	307.5	491.89	0.01	18429.39	0.00	3.62	2422.61	197135.21
63	312.5	489.59	0.01	18636.31	0.00	3.58	2415.56	196772.40
64	317.5	487.30	0.01	18821.99	0.00	3.54	2408.51	196409.88
65	322.5	485.00	0.01	18981.71	0.00	3.51	2401.47	196047.71
66	327.5	482.70	0.01	19107.27	0.00	3.49	2394.42	195685.93
67	332.5	480.41	0.01	19189.45	0.00	3.47	2387.38	195324.63
68	337.5	478.11	0.01	19221.56	0.00	3.47	2380.33	194963.86
69	342.5	475.82	0.01	19202.59	0.00	3.47	2373.29	194603.61
70	347.5	473.52	0.01	19139.01	0.00	3.48	2366.24	194243.84
71	352.5	471.23	0.01	19044.31	0.00	3.50	2359.20	193884.39
72	357.5	468.93	0.01	18936.66	0.00	3.52	2352.15	193525.10
73	362.5	466.64	0.01	18835.34	0.00	3.54	2345.11	193165.77
74	367.5	464.34	0.01	18757.51	0.00	3.56	2338.07	192806.21
75	372.5	462.05	0.02	18716.05	0.00	3.56	2331.02	192446.30
76	377.5	459.75	0.02	18719.19	0.00	3.56	2323.98	192085.94
77	382.5	457.46	0.02	18771.67	0.00	3.55	2316.93	191725.08
78	387.5	455.16	0.02	18877.03	0.00	3.53	2309.89	191363.72
79	392.5	452.87	0.02	19040.21	0.00	3.50	2302.85	191001.81
80	397.5	450.58	0.01	19269.82	0.00	3.46	2295.80	190639.31
81	402.5	448.28	0.01	19579.82	0.00	3.41	2288.76	190276.15
82	407.5	445.99	0.02	19990.79	0.00	3.34	2281.72	189912.21
83	412.5	443.70	0.02	20531.47	0.00	3.25	2274.68	189547.37
84	417.5	441.40	0.02	21241.31	0.00	3.14	2267.63	189181.50
85	422.5	439.11	0.03	22174.99	0.00	3.01	2260.59	188814.45
86	427.5	436.82	0.03	23409.94	0.00	2.85	2253.55	188446.10
87	432.5	434.52	0.04	25058.94	0.00	2.66	2246.51	188076.35
88	437.5	432.23	0.05	27291.36	0.00	2.44	2239.47	187705.18
89	442.5	429.94	0.05	30370.84	0.00	2.20	2232.42	187332.62
90	447.5	427.65	0.06	34723.31	0.00	1.92	2225.38	186958.86
91	452.5	425.36	0.07	41056.99	0.00	1.62	2218.34	186584.25
92	457.5	423.07	0.07	50524.11	0.00	1.32	2211.30	186209.46
93	462.5	420.77	0.08	64519.73	0.00	1.03	2204.26	185835.80

94	467.5	418.48	0.08	81352.35	0.00	0.82	2197.22	185465.85
95	472.5	416.19	0.08	87004.33	0.00	0.77	2190.18	185103.77
96	477.5	413.90	0.08	73484.27	0.00	0.91	2183.14	184751.06
97	482.5	411.61	0.08	57131.55	0.00	1.17	2176.10	184404.08
98	487.5	409.32	0.08	45333.11	0.00	1.47	2169.06	184059.26
99	492.5	407.03	0.07	37442.78	0.00	1.78	2162.02	183714.77
100	497.5	404.74	0.07	32070.51	0.00	2.08	2154.98	183369.77
101	502.5	402.45	0.06	28287.60	0.00	2.36	2147.94	183023.80
102	507.5	400.16	0.06	25535.24	0.00	2.61	2140.90	182676.68
103	512.5	397.87	0.05	23472.12	0.00	2.84	2133.87	182328.38
104	517.5	395.58	0.05	21881.00	0.00	3.05	2126.83	181978.95
105	522.5	393.30	0.05	20617.36	0.00	3.23	2119.79	181628.55
106	527.5	391.01	0.04	19581.41	0.00	3.41	2112.75	181277.38
107	532.5	388.72	0.04	18703.12	0.00	3.57	2105.71	180925.66
108	537.5	386.43	0.04	17934.20	0.00	3.72	2098.68	180573.59
109	542.5	384.14	0.04	17243.76	0.00	3.87	2091.64	180221.33
110	547.5	381.86	0.04	16615.45	0.00	4.01	2084.60	179868.94
111	552.5	379.57	0.04	16044.62	0.00	4.16	2077.57	179516.39
112	557.5	377.28	0.04	15535.12	0.00	4.29	2070.53	179163.51
113	562.5	374.99	0.04	15095.75	0.00	4.42	2063.50	178810.08
114	567.5	372.71	0.04	14737.09	0.00	4.52	2056.46	178455.78
115	572.5	370.42	0.04	14468.96	0.00	4.61	2049.42	178100.31
116	577.5	368.13	0.04	14299.12	0.00	4.66	2042.39	177743.40
117	582.5	365.85	0.04	14233.15	0.00	4.69	2035.35	177384.87
118	587.5	363.56	0.04	14275.64	0.00	4.67	2028.32	177024.60
119	592.5	361.28	0.04	14432.50	0.00	4.62	2021.29	176662.55
120	597.5	358.99	0.04	14713.98	0.00	4.53	2014.25	176298.72
121	602.5	356.71	0.05	15138.19	0.00	4.40	2007.22	175933.09
122	607.5	354.42	0.05	15734.55	0.00	4.24	2000.18	175565.63
123	612.5	352.14	0.06	16547.79	0.00	4.03	1993.15	175196.32
124	617.5	349.85	0.06	17642.92	0.00	3.78	1986.12	174825.20
125	622.5	347.57	0.07	19113.06	0.00	3.49	1979.08	174452.39
126	627.5	345.28	0.08	21091.95	0.00	3.16	1972.05	174078.14
127	632.5	343.00	0.09	23773.89	0.00	2.80	1965.02	173702.85
128	637.5	340.71	0.09	27444.57	0.00	2.43	1957.99	173327.06
129	642.5	338.43	0.10	32520.45	0.00	2.05	1950.95	172951.45
130	647.5	336.15	0.10	39557.23	0.00	1.69	1943.92	172576.82
131	652.5	333.86	0.10	49004.52	0.00	1.36	1936.89	172204.23
132	657.5	331.58	0.09	59930.62	0.00	1.11	1929.86	171835.15
133	662.5	329.30	0.09	67433.68	0.00	0.99	1922.83	171471.44
134	667.5	327.01	0.08	65820.60	0.00	1.01	1915.79	171113.95

135	672.5	324.73	0.08	58052.53	0.00	1.15	1908.76	170761.09
136	677.5	322.45	0.07	50034.98	0.00	1.33	1901.73	170410.24
137	682.5	320.16	0.06	43914.28	0.00	1.52	1894.70	170059.46
138	687.5	317.88	0.05	39714.72	0.00	1.68	1887.67	169707.64
139	692.5	315.60	0.04	37035.44	0.00	1.80	1880.64	169354.19
140	697.5	313.32	0.03	35527.15	0.00	1.88	1873.61	168998.87
141	702.5	311.04	0.01	34955.98	0.00	1.91	1866.58	168641.66
142	707.5	308.75	0.01	35175.67	0.00	1.90	1859.55	168282.72
143	712.5	306.47	0.01	36076.03	0.00	1.85	1852.51	167922.36
144	717.5	304.19	0.02	37521.18	0.00	1.78	1845.48	167561.09
145	722.5	301.91	0.03	39312.82	0.00	1.70	1838.45	167199.49
146	727.5	299.63	0.03	41252.44	0.00	1.62	1831.42	166838.00
147	732.5	297.35	0.03	43321.65	0.00	1.54	1824.39	166476.69
148	737.5	295.07	0.02	45814.27	0.00	1.46	1817.36	166115.19
149	742.5	292.78	0.02	49224.26	0.00	1.35	1810.34	165753.09
150	747.5	290.50	0.03	53906.09	0.00	1.24	1803.31	165390.44
151	752.5	288.22	0.03	59588.73	0.00	1.12	1796.28	165027.87
152	757.5	285.94	0.03	64983.35	0.00	1.03	1789.25	164666.34
153	762.5	283.66	0.02	68362.48	0.00	0.98	1782.22	164306.48
154	767.5	281.38	0.01	69059.69	0.00	0.97	1775.19	163948.21
155	772.5	279.10	0.01	67585.60	0.00	0.99	1768.16	163591.12
156	777.5	276.82	0.02	64572.11	0.00	1.03	1761.13	163234.98
157	782.5	274.54	0.02	60694.87	0.00	1.10	1754.10	162879.59
158	787.5	272.26	0.02	56929.73	0.00	1.17	1747.08	162524.46
159	792.5	269.98	0.01	54163.09	0.00	1.23	1740.05	162168.86
160	797.5	267.70	0.00	52798.30	0.00	1.26	1733.02	161812.26
161	802.5	265.42	0.01	52774.07	0.00	1.26	1725.99	161454.54
162	807.5	263.15	0.02	53737.55	0.00	1.24	1718.96	161096.01
163	812.5	260.87	0.02	55212.06	0.00	1.21	1711.94	160737.15
164	817.5	258.59	0.02	56756.41	0.00	1.17	1704.91	160378.34
165	822.5	256.31	0.02	58061.26	0.00	1.15	1697.88	160019.82
166	827.5	254.03	0.02	58921.57	0.00	1.13	1690.85	159661.68
167	832.5	251.75	0.02	59148.21	0.00	1.13	1683.83	159304.01
168	837.5	249.47	0.02	58535.33	0.00	1.14	1676.80	158946.94
169	842.5	247.19	0.02	56947.02	0.00	1.17	1669.77	158590.59
170	847.5	244.92	0.03	54494.23	0.00	1.22	1662.74	158234.97
171	852.5	242.64	0.02	51619.88	0.00	1.29	1655.72	157879.90
172	857.5	240.36	0.02	48932.26	0.00	1.36	1648.69	157524.94
173	862.5	238.08	0.01	46934.92	0.00	1.42	1641.67	157169.54
174	867.5	235.81	0.00	45895.65	0.00	1.45	1634.64	156813.30
175	872.5	233.53	0.01	45869.09	0.00	1.45	1627.61	156456.02

176	877.5	231.25	0.01	46762.88	0.00	1.43	1620.59	156097.83
177	882.5	228.97	0.02	48391.44	0.00	1.38	1613.56	155739.03
178	887.5	226.70	0.02	50526.83	0.00	1.32	1606.54	155379.95
179	892.5	224.42	0.01	52959.10	0.00	1.26	1599.51	155020.87
180	897.5	222.14	0.01	55525.42	0.00	1.20	1592.49	154661.93
181	902.5	219.87	0.02	58018.85	0.00	1.15	1585.46	154303.28
182	907.5	217.59	0.03	59933.63	0.00	1.11	1578.44	153945.15
183	912.5	215.31	0.04	60254.50	0.00	1.11	1571.41	153588.05
184	917.5	213.04	0.05	57931.70	0.00	1.15	1564.39	153232.53
185	922.5	210.76	0.06	53135.72	0.00	1.25	1557.36	152878.87
186	927.5	208.49	0.06	47452.47	0.00	1.41	1550.34	152526.65
187	932.5	206.21	0.05	42480.32	0.00	1.57	1543.31	152174.86
188	937.5	203.93	0.05	38995.50	0.00	1.71	1536.29	151822.34
189	942.5	201.66	0.04	37183.51	0.00	1.79	1529.26	151468.06
190	947.5	199.38	0.04	37038.80	0.00	1.80	1522.24	151111.47
191	952.5	197.11	0.05	38554.86	0.00	1.73	1515.22	150752.56
192	957.5	194.83	0.06	41687.90	0.00	1.60	1508.19	150391.99
193	962.5	192.56	0.07	46002.87	0.00	1.45	1501.17	150030.95
194	967.5	190.28	0.07	49929.81	0.00	1.34	1494.15	149671.11
195	972.5	188.01	0.07	50810.45	0.00	1.31	1487.12	149313.96
196	977.5	185.73	0.06	47703.36	0.00	1.40	1480.10	148959.94
197	982.5	183.46	0.05	42728.47	0.00	1.56	1473.08	148608.12
198	987.5	181.18	0.04	38036.12	0.00	1.75	1466.05	148257.14
199	992.5	178.91	0.04	34303.42	0.00	1.94	1459.03	147906.11
200	997.5	176.63	0.06	31334.65	0.00	2.13	1452.01	147554.90
201	1002.5	174.36	0.08	28683.86	0.00	2.32	1444.99	147204.05
202	1007.5	172.09	0.10	26023.25	0.00	2.56	1437.96	146854.37
203	1012.5	169.81	0.11	23342.52	0.00	2.86	1430.94	146506.33
204	1017.5	167.54	0.11	20865.79	0.00	3.20	1423.92	146159.63
205	1022.5	165.26	0.10	18803.39	0.00	3.55	1416.90	145813.32
206	1027.5	162.99	0.09	17223.50	0.00	3.87	1409.88	145466.33
207	1032.5	160.72	0.08	16079.92	0.00	4.15	1402.85	145117.88
208	1037.5	158.44	0.06	15282.03	0.00	4.36	1395.83	144767.70
209	1042.5	156.17	0.06	14750.14	0.00	4.52	1388.81	144415.74
210	1047.5	153.90	0.05	14453.70	0.00	4.61	1381.79	144061.86
211	1052.5	151.62	0.04	14437.94	0.00	4.62	1374.77	143705.38
212	1057.5	149.35	0.05	14845.85	0.00	4.49	1367.75	143345.08
213	1062.5	147.08	0.09	15963.99	0.00	4.18	1360.73	142979.56
214	1067.5	144.81	0.14	18376.83	0.00	3.63	1353.71	142608.00
215	1072.5	142.53	0.18	23525.86	0.00	2.83	1346.69	142230.91
216	1077.5	140.26	0.22	36357.23	0.00	1.83	1339.67	141850.40

217	1082.5	137.99	0.23	92267.07	0.00	0.72	1332.65	141469.72
218	1087.5	135.72	0.21	159228.8 9	0.00	0.42	1325.63	141108.07
219	1092.5	133.45	0.18	48344.60	0.00	1.38	1318.61	140773.51
220	1097.5	131.17	0.12	31465.14	0.00	2.12	1311.59	140434.84
221	1102.5	128.90	0.07	25795.56	0.00	2.59	1304.57	140090.17
222	1107.5	126.63	0.05	23877.19	0.00	2.79	1297.55	139739.49
223	1112.5	124.36	0.05	23767.26	0.00	2.81	1290.54	139384.20
224	1117.5	122.09	0.07	24638.16	0.00	2.71	1283.52	139026.37
225	1122.5	119.81	0.07	25984.59	0.00	2.57	1276.50	138667.73
226	1127.5	117.54	0.07	27518.39	0.00	2.42	1269.48	138309.20
227	1132.5	115.27	0.08	29216.28	0.00	2.28	1262.46	137950.87
228	1137.5	113.00	0.09	31216.59	0.00	2.14	1255.44	137592.60
229	1142.5	110.73	0.11	33387.59	0.00	2.00	1248.42	137234.64
230	1147.5	108.46	0.13	34538.32	0.00	1.93	1241.40	136878.29
231	1152.5	106.18	0.16	32568.56	0.00	2.05	1234.38	136525.64
232	1157.5	103.91	0.17	27545.18	0.00	2.42	1227.36	136178.12
233	1162.5	101.64	0.19	21988.42	0.00	3.03	1220.34	135835.60
234	1167.5	99.37	0.21	17354.82	0.00	3.84	1213.33	135497.75
235	1172.5	97.10	0.25	13735.77	0.00	4.85	1206.31	135165.32
236	1177.5	94.83	0.30	10890.48	0.00	6.12	1199.29	134840.57
237	1182.5	92.56	0.36	8647.01	0.00	7.71	1192.27	134526.77
238	1187.5	90.29	0.42	6917.38	0.00	9.64	1185.25	134226.89
239	1192.5	88.02	0.46	5636.24	0.00	11.83	1178.23	133941.47
240	1197.5	85.75	0.45	4731.78	0.00	14.09	1171.22	133665.97
241	1202.5	83.48	0.38	4129.99	0.00	16.15	1164.20	133389.61
242	1207.5	81.21	0.25	3765.69	0.00	17.71	1157.18	133097.84
243	1212.5	78.94	0.10	3585.99	0.00	18.60	1150.17	132778.73
244	1217.5	76.67	0.02	3544.83	0.00	18.81	1143.15	132429.78
245	1222.5	74.40	0.08	3590.73	0.00	18.57	1136.14	132060.28
246	1227.5	72.13	0.05	3654.09	0.00	18.25	1129.13	131687.47
247	1232.5	69.87	0.06	3650.02	0.00	18.27	1122.12	131329.92
248	1237.5	67.60	0.22	3513.49	0.00	18.98	1115.11	131002.84
249	1242.5	65.33	0.41	3243.63	0.00	20.56	1108.09	130716.78
250	1247.5	63.06	0.57	2900.51	0.00	22.99	1101.08	130477.63
251	1252.5	60.80	0.68	2554.84	0.00	26.10	1094.07	130285.97
252	1257.5	58.53	0.74	2250.03	0.00	29.64	1087.06	130136.73
253	1262.5	56.26	0.75	1999.35	0.00	33.35	1080.06	130020.69
254	1267.5	53.99	0.74	1798.50	0.00	37.08	1073.05	129928.45
255	1272.5	51.73	0.73	1636.51	0.00	40.75	1066.04	129855.03
256	1277.5	49.46	0.74	1501.62	0.00	44.41	1059.04	129803.43

257	1282.5	47.20	0.78	1383.65	0.00	48.19	1052.04	129786.25
258	1287.5	44.93	0.87	1274.90	0.00	52.30	1045.04	129826.13
259	1292.5	42.67	1.00	1170.30	0.00	56.98	1038.04	129956.02
260	1297.5	40.41	1.20	1067.24	0.00	62.48	1031.04	130220.55
261	1302.5	38.14	1.45	965.09	0.00	69.09	1024.05	130679.02
262	1307.5	35.88	1.76	864.71	0.00	77.12	1017.06	131410.08
263	1312.5	33.61	2.14	767.71	0.00	86.86	1010.06	132517.21
264	1317.5	31.34	2.58	675.98	0.00	98.65	1003.07	134133.69
265	1322.5	29.06	3.08	591.22	0.00	112.79	996.08	136425.28
266	1327.5	26.78	3.64	514.60	0.00	129.58	989.08	139588.97
267	1332.5	24.49	4.25	446.66	0.00	149.29	982.09	143847.23
268	1337.5	22.18	4.90	387.35	0.00	172.15	975.09	149438.08
269	1342.5	19.87	5.59	336.14	0.00	198.38	968.08	156602.52
270	1347.5	17.53	6.32	292.25	0.00	228.17	961.07	165570.78
271	1352.5	15.18	7.09	254.82	0.00	261.69	954.06	176547.82
272	1357.5	12.80	7.87	222.95	0.00	299.10	947.04	190315.52
273	1362.5	10.40	8.67	195.86	0.01	340.47	940.01	210280.09
274	1367.5	7.96	9.46	172.84	0.01	385.82	932.99	232766.10
275	1372.5	5.49	10.22	153.28	0.01	435.05	925.97	257699.68
276	1377.5	2.99	10.93	136.67	0.01	487.93	918.97	284932.13
277	1382.5	0.46	11.54	122.56	0.01	544.11	911.99	314233.53
278	1387.5	-2.10	12.03	110.58	0.01	603.04	905.07	345458.05
279	1392.5	-4.67	12.35	100.43	0.01	664.01	898.22	378042.53
280	1397.5	-7.22	12.46	91.85	0.01	726.03	891.49	411388.51
281	1402.5	-9.74	12.28	84.64	0.01	787.87	884.93	444783.13
282	1407.5	-12.18	11.75	78.64	0.01	847.95	878.60	477343.56
283	1412.5	-14.48	10.82	73.73	0.01	904.38	872.58	508009.75
284	1417.5	-16.60	9.41	69.83	0.01	954.95	866.97	535551.91
285	1422.5	-18.44	7.49	66.87	0.01	997.20	861.88	558594.88
286	1427.5	-19.92	5.01	64.84	0.02	1028.46	857.40	575660.40
287	1432.5	-20.97	1.99	63.75	0.02	1045.97	853.65	585227.66
288	1437.5	-21.51	1.56	63.69	0.02	1047.03	850.73	585811.32
289	1442.5	-21.48	5.58	64.79	0.02	1029.17	848.70	576053.52
290	1447.5	-20.87	9.97	67.34	0.01	990.28	847.60	554821.25
291	1452.75	-19.60	14.85	72.13	0.01	924.50	847.42	518962.35
292	1458.25	-17.68	20.11	80.50	0.01	828.36	848.21	466695.28
293	1463.75	-15.28	25.35	94.81	0.01	703.32	849.82	399088.20
294	1469.25	-12.62	30.47	121.28	0.01	549.81	852.00	316988.49
295	1474.75	-9.94	35.39	180.86	0.01	368.70	854.42	222821.98
296 *	1480.25	-7.49	29.20	348.97	0.00	191.08	856.78	149224.82
297 *	1485.75	-5.63	15.93	995.51	0.00	66.98	858.63	121363.35

298 *	1491.25	-4.03	5.49	8249.92	0.00	8.08	860.25	116959.08
299 *	1496.75	-2.43	0.03	9628.03	0.00	6.93	861.87	116939.75
300 *	1502.25	-0.82	1.24	19498.35	0.00	3.42	863.51	116902.38

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN LOAD CONTROLLED
CONDITION

Pipa kosong 28.4 mm

L (m)	SF (kN)	MF (kN m)	Stot	SE	Mtot	ME	Ssd	Msd	Ssd/Sp	Msd/Mp	LCC Check	VM (kPa)	UC
0	1715.98	242.73	1709.64	-6.33	322.44	79.71	1363.66	308.97	0.13	0.27	0.25	77396.26	0.20
2.5	1713.21	180.75	1706.95	-6.26	244.83	64.09	1361.55	236.88	0.13	0.21	0.22	61282.32	0.16
7.5	1707.32	88.51	1701.16	-6.16	128.02	39.51	1356.98	127.70	0.13	0.11	0.19	45319.54	0.12
12.5	1701.33	43.48	1695.18	-6.15	68.62	25.14	1352.21	70.98	0.13	0.06	0.18	43850.56	0.11
17.5	1695.31	21.47	1689.16	-6.15	37.85	16.38	1347.40	40.77	0.13	0.04	0.18	49623.50	0.13
22.5	1689.29	10.68	1683.14	-6.15	21.64	10.95	1342.57	24.32	0.12	0.02	0.17	53505.59	0.14
27.5	1683.26	5.39	1677.11	-6.15	13.02	7.62	1337.75	15.29	0.12	0.01	0.17	55591.64	0.14
32.5	1677.24	2.79	1671.09	-6.15	8.49	5.70	1332.93	10.44	0.12	0.01	0.17	56672.00	0.15
37.5	1671.21	1.50	1665.07	-6.14	6.23	4.73	1328.12	8.01	0.12	0.01	0.17	57185.30	0.15
42.5	1665.19	0.86	1659.05	-6.14	5.21	4.36	1323.31	6.96	0.12	0.01	0.17	57377.41	0.15
47.5	1659.16	0.53	1653.04	-6.12	4.82	4.29	1318.51	6.61	0.12	0.01	0.17	57387.59	0.15
52.5	1653.14	0.36	1647.03	-6.11	4.70	4.34	1313.71	6.54	0.12	0.01	0.17	57295.30	0.15
57.5	1647.11	0.27	1641.02	-6.09	4.70	4.43	1308.91	6.59	0.12	0.01	0.17	57146.20	0.15
62.5	1641.09	0.21	1635.01	-6.08	4.74	4.53	1304.12	6.69	0.12	0.01	0.17	56966.63	0.15
67.5	1635.06	0.17	1629.00	-6.06	4.79	4.62	1299.32	6.79	0.12	0.01	0.17	56771.81	0.15
72.5	1629.03	0.14	1623.00	-6.04	4.85	4.70	1294.53	6.89	0.12	0.01	0.17	56570.52	0.15
77.5	1623.01	0.12	1616.99	-6.02	4.89	4.77	1289.74	6.97	0.12	0.01	0.17	56367.76	0.15
82.5	1616.98	0.10	1610.99	-6.00	4.92	4.82	1284.95	7.03	0.12	0.01	0.17	56166.30	0.15
87.5	1610.96	0.08	1604.98	-5.98	4.94	4.86	1280.16	7.07	0.12	0.01	0.17	55967.55	0.15
92.5	1604.93	0.06	1598.98	-5.95	4.95	4.89	1275.37	7.09	0.12	0.01	0.17	55771.95	0.15
97.5	1598.91	0.05	1592.98	-5.93	4.95	4.90	1270.58	7.09	0.12	0.01	0.17	55579.23	0.14
102.5	1592.88	0.04	1586.97	-5.91	4.94	4.90	1265.80	7.08	0.12	0.01	0.17	55388.85	0.14
107.5	1586.86	0.04	1580.97	-5.89	4.92	4.88	1261.01	7.06	0.12	0.01	0.17	55200.81	0.14

112.5	1580.83	0.03	1574.97	-5.86	4.90	4.87	1256.22	7.03	0.12	0.01	0.17	55015.67	0.14
117.5	1574.81	0.03	1568.97	-5.84	4.87	4.84	1251.44	7.00	0.12	0.01	0.17	54833.98	0.14
122.5	1568.78	0.03	1562.97	-5.82	4.84	4.81	1246.65	6.95	0.12	0.01	0.17	54655.98	0.14
127.5	1562.76	0.03	1556.96	-5.79	4.81	4.78	1241.86	6.90	0.12	0.01	0.17	54481.74	0.14
132.5	1556.73	0.03	1550.96	-5.77	4.77	4.73	1237.08	6.84	0.11	0.01	0.17	54311.27	0.14
137.5	1550.70	0.03	1544.96	-5.75	4.72	4.69	1232.29	6.78	0.11	0.01	0.17	54144.53	0.14
142.5	1544.68	0.03	1538.96	-5.72	4.68	4.64	1227.50	6.71	0.11	0.01	0.17	53981.45	0.14
147.5	1538.65	0.03	1532.96	-5.70	4.63	4.59	1222.72	6.64	0.11	0.01	0.17	53821.97	0.14
152.5	1532.63	0.03	1526.95	-5.67	4.58	4.54	1217.93	6.57	0.11	0.01	0.17	53666.03	0.14
157.5	1526.60	0.03	1520.95	-5.65	4.53	4.49	1213.15	6.50	0.11	0.01	0.17	53513.54	0.14
162.5	1520.58	0.04	1514.95	-5.63	4.47	4.44	1208.36	6.42	0.11	0.01	0.17	53364.45	0.14
167.5	1514.55	0.04	1508.95	-5.60	4.42	4.39	1203.57	6.35	0.11	0.01	0.17	53218.67	0.14
172.5	1508.53	0.04	1502.95	-5.58	4.37	4.33	1198.79	6.27	0.11	0.01	0.17	53076.14	0.14
177.5	1502.50	0.04	1496.95	-5.56	4.32	4.28	1194.00	6.19	0.11	0.01	0.17	52936.80	0.14
182.5	1496.48	0.04	1490.94	-5.53	4.27	4.23	1189.21	6.12	0.11	0.01	0.17	52800.59	0.14
187.5	1490.45	0.04	1484.94	-5.51	4.22	4.18	1184.43	6.05	0.11	0.01	0.17	52667.44	0.14
192.5	1484.43	0.04	1478.94	-5.49	4.17	4.13	1179.64	5.98	0.11	0.01	0.17	52537.32	0.14
197.5	1478.40	0.04	1472.94	-5.46	4.12	4.08	1174.86	5.90	0.11	0.01	0.17	52410.17	0.14
202.5	1472.38	0.04	1466.94	-5.44	4.07	4.03	1170.07	5.83	0.11	0.01	0.17	52285.97	0.14
207.5	1466.35	0.04	1460.93	-5.42	4.02	3.98	1165.28	5.76	0.11	0.01	0.17	52164.67	0.14
212.5	1460.32	0.04	1454.93	-5.39	3.97	3.94	1160.50	5.70	0.11	0.01	0.17	52046.25	0.14
217.5	1454.30	0.04	1448.93	-5.37	3.93	3.89	1155.71	5.63	0.11	0.00	0.17	51930.67	0.14
222.5	1448.27	0.04	1442.93	-5.34	3.88	3.84	1150.92	5.57	0.11	0.00	0.17	51817.92	0.14
227.5	1442.25	0.04	1436.93	-5.32	3.84	3.80	1146.14	5.50	0.11	0.00	0.17	51707.95	0.13
232.5	1436.22	0.04	1430.92	-5.30	3.80	3.76	1141.35	5.44	0.11	0.00	0.17	51600.77	0.13
237.5	1430.20	0.04	1424.92	-5.27	3.75	3.71	1136.56	5.38	0.11	0.00	0.17	51496.34	0.13

242.5	1424.17	0.04	1418.92	-5.25	3.71	3.67	1131.78	5.32	0.11	0.00	0.17	51394.66	0.13
247.5	1418.15	0.04	1412.92	-5.23	3.67	3.63	1126.99	5.26	0.10	0.00	0.17	51295.70	0.13
252.5	1412.12	0.04	1406.92	-5.21	3.63	3.59	1122.20	5.21	0.10	0.00	0.17	51199.45	0.13
257.5	1406.10	0.04	1400.91	-5.18	3.60	3.55	1117.41	5.15	0.10	0.00	0.17	51105.91	0.13
262.5	1400.07	0.04	1394.91	-5.16	3.56	3.52	1112.63	5.10	0.10	0.00	0.17	51015.05	0.13
267.5	1394.05	0.04	1388.91	-5.14	3.52	3.48	1107.84	5.04	0.10	0.00	0.17	50926.87	0.13
272.5	1388.02	0.04	1382.91	-5.11	3.49	3.44	1103.05	4.99	0.10	0.00	0.17	50841.36	0.13
277.5	1381.99	0.04	1376.91	-5.09	3.45	3.41	1098.27	4.94	0.10	0.00	0.17	50758.50	0.13
282.5	1375.97	0.04	1370.90	-5.07	3.42	3.37	1093.48	4.89	0.10	0.00	0.17	50678.29	0.13
287.5	1369.94	0.04	1364.90	-5.04	3.38	3.34	1088.69	4.84	0.10	0.00	0.17	50600.73	0.13
292.5	1363.92	0.04	1358.90	-5.02	3.35	3.31	1083.91	4.80	0.10	0.00	0.17	50525.80	0.13
297.5	1357.89	0.04	1352.90	-5.00	3.32	3.27	1079.12	4.75	0.10	0.00	0.17	50453.49	0.13
302.5	1351.87	0.04	1346.89	-4.97	3.29	3.24	1074.33	4.71	0.10	0.00	0.17	50383.81	0.13
307.5	1345.84	0.04	1340.89	-4.95	3.26	3.21	1069.54	4.66	0.10	0.00	0.17	50316.73	0.13
312.5	1339.82	0.05	1334.89	-4.93	3.23	3.18	1064.76	4.62	0.10	0.00	0.17	50252.27	0.13
317.5	1333.79	0.05	1328.89	-4.90	3.20	3.15	1059.97	4.58	0.10	0.00	0.17	50190.41	0.13
322.5	1327.77	0.05	1322.88	-4.88	3.17	3.12	1055.18	4.53	0.10	0.00	0.17	50131.13	0.13
327.5	1321.74	0.05	1316.88	-4.86	3.14	3.09	1050.40	4.49	0.10	0.00	0.17	50074.43	0.13
332.5	1315.72	0.05	1310.88	-4.84	3.11	3.07	1045.61	4.45	0.10	0.00	0.17	50020.30	0.13
337.5	1309.69	0.05	1304.88	-4.81	3.09	3.04	1040.82	4.41	0.10	0.00	0.17	49968.72	0.13
342.5	1303.66	0.05	1298.87	-4.79	3.06	3.01	1036.03	4.37	0.10	0.00	0.17	49919.68	0.13
347.5	1297.64	0.05	1292.87	-4.77	3.03	2.98	1031.25	4.34	0.10	0.00	0.17	49873.18	0.13
352.5	1291.61	0.05	1286.87	-4.74	3.01	2.96	1026.46	4.30	0.10	0.00	0.17	49829.21	0.13
357.5	1285.59	0.05	1280.87	-4.72	2.98	2.94	1021.67	4.27	0.09	0.00	0.17	49787.77	0.13
362.5	1279.56	0.05	1274.86	-4.70	2.96	2.91	1016.88	4.23	0.09	0.00	0.17	49748.88	0.13
367.5	1273.54	0.05	1268.86	-4.68	2.94	2.89	1012.10	4.20	0.09	0.00	0.17	49712.54	0.13

372.5	1267.51	0.05	1262.86	-4.65	2.91	2.86	1007.31	4.16	0.09	0.00	0.17	49678.78	0.13
377.5	1261.49	0.05	1256.86	-4.63	2.89	2.84	1002.52	4.13	0.09	0.00	0.17	49647.59	0.13
382.5	1255.46	0.05	1250.85	-4.61	2.86	2.81	997.74	4.09	0.09	0.00	0.17	49619.01	0.13
387.5	1249.44	0.05	1244.85	-4.58	2.84	2.79	992.95	4.05	0.09	0.00	0.17	49593.03	0.13
392.5	1243.41	0.05	1238.85	-4.56	2.81	2.76	988.16	4.02	0.09	0.00	0.17	49569.66	0.13
397.5	1237.39	0.05	1232.85	-4.54	2.79	2.73	983.37	3.98	0.09	0.00	0.17	49548.91	0.13
402.5	1231.36	0.05	1226.84	-4.52	2.76	2.71	978.59	3.94	0.09	0.00	0.17	49530.77	0.13
407.5	1225.33	0.05	1220.84	-4.49	2.73	2.68	973.80	3.90	0.09	0.00	0.17	49515.23	0.13
412.5	1219.31	0.05	1214.84	-4.47	2.70	2.65	969.01	3.86	0.09	0.00	0.17	49502.27	0.13
417.5	1213.28	0.06	1208.84	-4.45	2.68	2.62	964.22	3.82	0.09	0.00	0.17	49491.88	0.13
422.5	1207.26	0.06	1202.83	-4.42	2.65	2.59	959.44	3.78	0.09	0.00	0.17	49484.05	0.13
427.5	1201.23	0.06	1196.83	-4.40	2.62	2.56	954.65	3.74	0.09	0.00	0.17	49478.74	0.13
432.5	1195.21	0.06	1190.83	-4.38	2.59	2.54	949.86	3.70	0.09	0.00	0.17	49475.94	0.13
437.5	1189.18	0.06	1184.83	-4.35	2.56	2.51	945.07	3.65	0.09	0.00	0.17	49475.63	0.13
442.5	1183.16	0.06	1178.82	-4.33	2.53	2.48	940.29	3.61	0.09	0.00	0.17	49477.79	0.13
447.5	1177.13	0.06	1172.82	-4.31	2.50	2.44	935.50	3.57	0.09	0.00	0.17	49482.38	0.13
452.5	1171.11	0.06	1166.82	-4.29	2.47	2.41	930.71	3.52	0.09	0.00	0.17	49489.40	0.13
457.5	1165.08	0.06	1160.82	-4.26	2.44	2.38	925.93	3.47	0.09	0.00	0.17	49498.80	0.13
462.5	1159.06	0.06	1154.81	-4.24	2.40	2.34	921.14	3.42	0.09	0.00	0.17	49510.57	0.13
467.5	1153.03	0.06	1148.81	-4.22	2.37	2.31	916.35	3.37	0.09	0.00	0.17	49524.66	0.13
472.5	1147.00	0.06	1142.81	-4.19	2.34	2.28	911.56	3.33	0.08	0.00	0.17	49541.05	0.13
477.5	1140.98	0.06	1136.81	-4.17	2.31	2.25	906.78	3.29	0.08	0.00	0.17	49559.71	0.13
482.5	1134.95	0.06	1130.80	-4.15	2.28	2.22	901.99	3.25	0.08	0.00	0.17	49580.58	0.13
487.5	1128.93	0.06	1124.80	-4.13	2.26	2.20	897.20	3.22	0.08	0.00	0.17	49603.64	0.13
492.5	1122.90	0.06	1118.80	-4.10	2.24	2.18	892.41	3.18	0.08	0.00	0.17	49628.85	0.13
497.5	1116.88	0.07	1112.80	-4.08	2.22	2.15	887.63	3.15	0.08	0.00	0.17	49656.17	0.13

502.5	1110.85	0.07	1106.79	-4.06	2.20	2.13	882.84	3.13	0.08	0.00	0.17	49685.56	0.13
507.5	1104.83	0.07	1100.79	-4.03	2.18	2.12	878.05	3.10	0.08	0.00	0.17	49717.00	0.13
512.5	1098.80	0.07	1094.79	-4.01	2.17	2.10	873.26	3.08	0.08	0.00	0.17	49750.47	0.13
517.5	1092.78	0.07	1088.79	-3.99	2.15	2.09	868.48	3.06	0.08	0.00	0.17	49785.94	0.13
522.5	1086.75	0.07	1082.78	-3.97	2.14	2.07	863.69	3.04	0.08	0.00	0.17	49823.39	0.13
527.5	1080.72	0.07	1076.78	-3.94	2.13	2.06	858.90	3.03	0.08	0.00	0.17	49862.82	0.13
532.5	1074.70	0.07	1070.78	-3.92	2.13	2.06	854.12	3.02	0.08	0.00	0.17	49904.22	0.13
537.5	1068.67	0.07	1064.78	-3.90	2.12	2.05	849.33	3.00	0.08	0.00	0.17	49947.59	0.13
542.5	1062.65	0.07	1058.77	-3.87	2.11	2.03	844.54	2.99	0.08	0.00	0.17	49992.94	0.13
547.5	1056.62	0.07	1052.77	-3.85	2.10	2.02	839.75	2.97	0.08	0.00	0.17	50040.27	0.13
552.5	1050.60	0.07	1046.77	-3.83	2.09	2.01	834.97	2.96	0.08	0.00	0.17	50089.60	0.13
557.5	1044.57	0.07	1040.77	-3.80	2.08	2.00	830.18	2.94	0.08	0.00	0.17	50140.93	0.13
562.5	1038.55	0.08	1034.77	-3.78	2.06	1.99	825.39	2.93	0.08	0.00	0.17	50194.29	0.13
567.5	1032.52	0.08	1028.76	-3.76	2.05	1.98	820.60	2.91	0.08	0.00	0.17	50249.71	0.13
572.5	1026.50	0.08	1022.76	-3.74	2.04	1.96	815.82	2.89	0.08	0.00	0.17	50307.20	0.13
577.5	1020.47	0.08	1016.76	-3.71	2.03	1.95	811.03	2.87	0.08	0.00	0.17	50366.81	0.13
582.5	1014.45	0.08	1010.76	-3.69	2.01	1.93	806.24	2.85	0.07	0.00	0.17	50428.56	0.13
587.5	1008.42	0.08	1004.75	-3.67	2.00	1.92	801.46	2.83	0.07	0.00	0.17	50492.50	0.13
592.5	1002.39	0.08	998.75	-3.64	1.98	1.90	796.67	2.80	0.07	0.00	0.17	50558.66	0.13
597.5	996.37	0.08	992.75	-3.62	1.96	1.88	791.88	2.78	0.07	0.00	0.17	50627.09	0.13
602.5	990.34	0.08	986.75	-3.60	1.94	1.86	787.09	2.75	0.07	0.00	0.17	50697.81	0.13
607.5	984.32	0.08	980.74	-3.58	1.92	1.84	782.31	2.71	0.07	0.00	0.17	50770.85	0.13
612.5	978.29	0.08	974.74	-3.55	1.90	1.82	777.52	2.68	0.07	0.00	0.17	50846.23	0.13
617.5	972.27	0.09	968.74	-3.53	1.88	1.79	772.73	2.65	0.07	0.00	0.17	50923.97	0.13
622.5	966.24	0.09	962.74	-3.51	1.86	1.77	767.94	2.62	0.07	0.00	0.17	51004.10	0.13
627.5	960.22	0.09	956.73	-3.48	1.84	1.75	763.16	2.59	0.07	0.00	0.17	51086.63	0.13

632.5	954.19	0.09	950.73	-3.46	1.81	1.72	758.37	2.55	0.07	0.00	0.17	51171.59	0.13
637.5	948.17	0.09	944.73	-3.44	1.79	1.70	753.58	2.52	0.07	0.00	0.17	51259.00	0.13
642.5	942.14	0.09	938.73	-3.41	1.76	1.67	748.80	2.48	0.07	0.00	0.17	51348.89	0.13
647.5	936.11	0.09	932.72	-3.39	1.74	1.65	744.01	2.45	0.07	0.00	0.17	51441.28	0.13
652.5	930.09	0.09	926.72	-3.37	1.72	1.62	739.22	2.41	0.07	0.00	0.17	51536.20	0.13
657.5	924.06	0.10	920.72	-3.35	1.69	1.60	734.43	2.37	0.07	0.00	0.17	51633.66	0.13
662.5	918.04	0.10	914.72	-3.32	1.67	1.57	729.65	2.34	0.07	0.00	0.17	51733.67	0.13
667.5	912.01	0.10	908.71	-3.30	1.65	1.55	724.86	2.32	0.07	0.00	0.17	51836.20	0.14
672.5	905.99	0.10	902.71	-3.28	1.63	1.53	720.07	2.29	0.07	0.00	0.17	51941.25	0.14
677.5	899.96	0.10	896.71	-3.25	1.61	1.51	715.29	2.26	0.07	0.00	0.17	52048.80	0.14
682.5	893.94	0.10	890.71	-3.23	1.59	1.49	710.50	2.23	0.07	0.00	0.17	52158.81	0.14
687.5	887.91	0.10	884.70	-3.21	1.57	1.47	705.71	2.20	0.07	0.00	0.17	52271.26	0.14
692.5	881.89	0.10	878.70	-3.18	1.55	1.44	700.92	2.16	0.07	0.00	0.17	52386.12	0.14
697.5	875.86	0.11	872.70	-3.16	1.53	1.42	696.14	2.13	0.06	0.00	0.17	52503.37	0.14
702.5	869.83	0.11	866.70	-3.14	1.50	1.40	691.35	2.10	0.06	0.00	0.17	52622.98	0.14
707.5	863.81	0.11	860.69	-3.11	1.49	1.38	686.56	2.07	0.06	0.00	0.17	52744.92	0.14
712.5	857.78	0.11	854.69	-3.09	1.48	1.37	681.78	2.06	0.06	0.00	0.17	52869.16	0.14
717.5	851.76	0.11	848.69	-3.07	1.47	1.36	676.99	2.05	0.06	0.00	0.17	52995.69	0.14
722.5	845.73	0.11	842.69	-3.05	1.47	1.35	672.20	2.04	0.06	0.00	0.17	53124.49	0.14
727.5	839.71	0.12	836.69	-3.02	1.46	1.35	667.41	2.03	0.06	0.00	0.17	53255.55	0.14
732.5	833.68	0.12	830.68	-3.00	1.45	1.33	662.63	2.01	0.06	0.00	0.17	53388.87	0.14
737.5	827.66	0.12	824.68	-2.98	1.44	1.32	657.84	1.99	0.06	0.00	0.17	53524.43	0.14
742.5	821.63	0.12	818.68	-2.95	1.42	1.30	653.05	1.97	0.06	0.00	0.17	53662.21	0.14
747.5	815.61	0.12	812.68	-2.93	1.41	1.28	648.26	1.95	0.06	0.00	0.17	53802.18	0.14
752.5	809.58	0.12	806.67	-2.91	1.39	1.26	643.48	1.92	0.06	0.00	0.17	53944.31	0.14
757.5	803.55	0.13	800.67	-2.88	1.36	1.24	638.69	1.88	0.06	0.00	0.17	54088.55	0.14

762.5	797.53	0.13	794.67	-2.86	1.34	1.21	633.90	1.85	0.06	0.00	0.17	54234.87	0.14
767.5	791.50	0.13	788.67	-2.84	1.32	1.19	629.12	1.82	0.06	0.00	0.17	54383.23	0.14
772.5	785.48	0.13	782.66	-2.82	1.31	1.18	624.33	1.80	0.06	0.00	0.17	54533.59	0.14
777.5	779.45	0.13	776.66	-2.79	1.30	1.17	619.54	1.79	0.06	0.00	0.17	54685.94	0.14
782.5	773.43	0.14	770.66	-2.77	1.30	1.16	614.75	1.78	0.06	0.00	0.17	54840.27	0.14
787.5	767.40	0.14	764.66	-2.75	1.29	1.15	609.97	1.77	0.06	0.00	0.17	54996.60	0.14
792.5	761.38	0.14	758.65	-2.72	1.28	1.14	605.18	1.76	0.06	0.00	0.17	55154.95	0.14
797.5	755.35	0.14	752.65	-2.70	1.28	1.13	600.39	1.75	0.06	0.00	0.17	55315.34	0.14
802.5	749.33	0.14	746.65	-2.68	1.27	1.13	595.61	1.74	0.06	0.00	0.17	55477.76	0.14
807.5	743.30	0.15	740.65	-2.65	1.27	1.12	590.82	1.73	0.05	0.00	0.17	55642.21	0.15
812.5	737.27	0.15	734.64	-2.63	1.26	1.11	586.03	1.72	0.05	0.00	0.17	55808.68	0.15
817.5	731.25	0.15	728.64	-2.61	1.26	1.11	581.24	1.72	0.05	0.00	0.17	55977.13	0.15
822.5	725.22	0.15	722.64	-2.58	1.26	1.10	576.46	1.71	0.05	0.00	0.17	56147.53	0.15
827.5	719.20	0.16	716.64	-2.56	1.26	1.10	571.67	1.71	0.05	0.00	0.17	56319.86	0.15
832.5	713.17	0.16	710.63	-2.54	1.25	1.09	566.88	1.70	0.05	0.00	0.17	56494.06	0.15
837.5	707.15	0.16	704.63	-2.52	1.25	1.09	562.10	1.70	0.05	0.00	0.17	56670.10	0.15
842.5	701.12	0.17	698.63	-2.49	1.25	1.08	557.31	1.69	0.05	0.00	0.17	56847.95	0.15
847.5	695.10	0.17	692.63	-2.47	1.24	1.07	552.52	1.68	0.05	0.00	0.17	57027.58	0.15
852.5	689.07	0.17	686.63	-2.45	1.23	1.06	547.73	1.66	0.05	0.00	0.17	57208.97	0.15
857.5	683.05	0.17	680.62	-2.42	1.22	1.05	542.95	1.64	0.05	0.00	0.17	57392.08	0.15
862.5	677.02	0.18	674.62	-2.40	1.22	1.04	538.16	1.64	0.05	0.00	0.17	57576.90	0.15
867.5	670.99	0.18	668.62	-2.38	1.22	1.03	533.37	1.63	0.05	0.00	0.17	57763.40	0.15
872.5	664.97	0.18	662.62	-2.35	1.22	1.03	528.59	1.63	0.05	0.00	0.17	57951.56	0.15
877.5	658.94	0.19	656.61	-2.33	1.22	1.03	523.80	1.63	0.05	0.00	0.17	58141.38	0.15
882.5	652.92	0.19	650.61	-2.31	1.22	1.03	519.01	1.64	0.05	0.00	0.17	58332.85	0.15
887.5	646.89	0.19	644.61	-2.28	1.23	1.04	514.23	1.65	0.05	0.00	0.17	58525.99	0.15

892.5	640.87	0.20	638.61	-2.26	1.24	1.05	509.44	1.67	0.05	0.00	0.17	58720.79	0.15
897.5	634.84	0.20	632.60	-2.24	1.26	1.06	504.65	1.69	0.05	0.00	0.17	58917.26	0.15
902.5	628.82	0.21	626.60	-2.21	1.28	1.07	499.86	1.71	0.05	0.00	0.17	59115.40	0.15
907.5	622.79	0.21	620.60	-2.19	1.30	1.09	495.08	1.74	0.05	0.00	0.17	59315.20	0.15
912.5	616.76	0.21	614.60	-2.17	1.33	1.11	490.29	1.78	0.05	0.00	0.17	59516.65	0.16
917.5	610.74	0.22	608.59	-2.15	1.37	1.15	485.50	1.83	0.05	0.00	0.17	59719.73	0.16
922.5	604.71	0.22	602.59	-2.12	1.40	1.18	480.72	1.88	0.04	0.00	0.17	59924.40	0.16
927.5	598.69	0.23	596.59	-2.10	1.44	1.21	475.93	1.92	0.04	0.00	0.17	60130.66	0.16
932.5	592.66	0.23	590.59	-2.08	1.47	1.24	471.14	1.96	0.04	0.00	0.17	60338.45	0.16
937.5	586.64	0.24	584.58	-2.05	1.49	1.26	466.35	2.00	0.04	0.00	0.17	60547.76	0.16
942.5	580.61	0.24	578.58	-2.03	1.51	1.27	461.57	2.02	0.04	0.00	0.17	60758.56	0.16
947.5	574.59	0.25	572.58	-2.01	1.53	1.28	456.78	2.04	0.04	0.00	0.17	60970.83	0.16
952.5	568.56	0.25	566.58	-1.98	1.54	1.28	451.99	2.05	0.04	0.00	0.17	61184.54	0.16
957.5	562.54	0.26	560.58	-1.96	1.54	1.28	447.21	2.05	0.04	0.00	0.17	61399.70	0.16
962.5	556.51	0.26	554.57	-1.94	1.54	1.28	442.42	2.05	0.04	0.00	0.17	61616.30	0.16
967.5	550.48	0.27	548.57	-1.91	1.55	1.28	437.63	2.06	0.04	0.00	0.17	61834.34	0.16
972.5	544.46	0.28	542.57	-1.89	1.56	1.28	432.85	2.07	0.04	0.00	0.17	62053.81	0.16
977.5	538.43	0.28	536.57	-1.87	1.57	1.29	428.06	2.09	0.04	0.00	0.17	62274.73	0.16
982.5	532.41	0.29	530.56	-1.84	1.59	1.30	423.27	2.10	0.04	0.00	0.17	62497.10	0.16
987.5	526.38	0.30	524.56	-1.82	1.60	1.31	418.48	2.12	0.04	0.00	0.17	62720.92	0.16
992.5	520.36	0.30	518.56	-1.80	1.61	1.31	413.70	2.13	0.04	0.00	0.17	62946.20	0.16
997.5	514.33	0.31	512.56	-1.77	1.62	1.31	408.91	2.13	0.04	0.00	0.17	63172.95	0.16
1002.5	508.31	0.32	506.55	-1.75	1.63	1.31	404.12	2.14	0.04	0.00	0.17	63401.15	0.17
1007.5	502.28	0.32	500.55	-1.73	1.64	1.32	399.34	2.16	0.04	0.00	0.17	63630.81	0.17
1012.5	496.25	0.33	494.55	-1.70	1.66	1.33	394.55	2.18	0.04	0.00	0.17	63861.92	0.17
1017.5	490.23	0.34	488.55	-1.68	1.70	1.36	389.76	2.23	0.04	0.00	0.17	64094.46	0.17

1022.5	484.20	0.35	482.55	-1.66	1.75	1.40	384.98	2.30	0.04	0.00	0.17	64328.45	0.17
1027.5	478.18	0.36	476.54	-1.63	1.81	1.45	380.19	2.37	0.04	0.00	0.17	64563.85	0.17
1032.5	472.15	0.37	470.54	-1.61	1.87	1.50	375.40	2.45	0.03	0.00	0.17	64800.65	0.17
1037.5	466.13	0.38	464.54	-1.59	1.92	1.55	370.62	2.53	0.03	0.00	0.17	65038.80	0.17
1042.5	460.10	0.39	458.54	-1.56	1.98	1.59	365.83	2.60	0.03	0.00	0.17	65278.24	0.17
1047.5	454.08	0.40	452.53	-1.54	2.02	1.63	361.04	2.66	0.03	0.00	0.17	65518.87	0.17
1052.5	448.05	0.41	446.53	-1.52	2.07	1.66	356.26	2.72	0.03	0.00	0.17	65760.62	0.17
1057.5	442.02	0.42	440.53	-1.49	2.12	1.70	351.47	2.79	0.03	0.00	0.17	66003.40	0.17
1062.5	436.00	0.43	434.53	-1.47	2.17	1.74	346.68	2.85	0.03	0.00	0.17	66247.16	0.17
1067.5	429.97	0.45	428.53	-1.45	2.22	1.77	341.89	2.91	0.03	0.00	0.17	66491.88	0.17
1072.5	423.95	0.46	422.52	-1.42	2.26	1.81	337.11	2.97	0.03	0.00	0.17	66737.56	0.17
1077.5	417.92	0.47	416.52	-1.40	2.30	1.83	332.32	3.01	0.03	0.00	0.17	66984.24	0.17
1082.5	411.90	0.49	410.52	-1.38	2.33	1.85	327.53	3.05	0.03	0.00	0.17	67231.98	0.18
1087.5	405.87	0.50	404.52	-1.35	2.37	1.87	322.75	3.09	0.03	0.00	0.17	67480.85	0.18
1092.5	399.84	0.52	398.52	-1.33	2.42	1.90	317.96	3.15	0.03	0.00	0.17	67730.93	0.18
1097.5	393.82	0.53	392.51	-1.31	2.48	1.95	313.17	3.23	0.03	0.00	0.17	67982.27	0.18
1102.5	387.79	0.55	386.51	-1.28	2.56	2.01	308.39	3.33	0.03	0.00	0.17	68234.93	0.18
1107.5	381.77	0.57	380.51	-1.26	2.65	2.09	303.60	3.46	0.03	0.00	0.17	68488.95	0.18
1112.5	375.74	0.59	374.51	-1.24	2.76	2.18	298.81	3.60	0.03	0.00	0.17	68744.33	0.18
1117.5	369.72	0.60	368.50	-1.21	2.88	2.27	294.03	3.76	0.03	0.00	0.17	69001.09	0.18
1122.5	363.69	0.62	362.50	-1.19	3.00	2.37	289.24	3.92	0.03	0.00	0.17	69259.20	0.18
1127.5	357.66	0.65	356.50	-1.16	3.12	2.48	284.46	4.08	0.03	0.00	0.17	69518.65	0.18
1132.5	351.64	0.67	350.50	-1.14	3.26	2.59	279.67	4.26	0.03	0.00	0.17	69779.43	0.18
1137.5	345.61	0.69	344.50	-1.12	3.39	2.70	274.88	4.44	0.03	0.00	0.17	70041.54	0.18
1142.5	339.59	0.71	338.49	-1.09	3.53	2.82	270.10	4.63	0.03	0.00	0.17	70304.97	0.18
1147.5	333.56	0.73	332.49	-1.07	3.66	2.93	265.31	4.80	0.02	0.00	0.17	70569.76	0.18

1152.5	327.54	0.76	326.49	-1.05	3.79	3.03	260.52	4.97	0.02	0.00	0.17	70835.97	0.18
1157.5	321.51	0.78	320.49	-1.02	3.92	3.14	255.74	5.15	0.02	0.00	0.17	71103.72	0.19
1162.5	315.48	0.80	314.49	-1.00	4.08	3.28	250.95	5.36	0.02	0.00	0.17	71373.18	0.19
1167.5	309.46	0.82	308.48	-0.97	4.28	3.46	246.16	5.64	0.02	0.00	0.17	71644.57	0.19
1172.5	303.43	0.84	302.48	-0.95	4.54	3.70	241.38	6.00	0.02	0.01	0.17	71918.13	0.19
1177.5	297.41	0.85	296.48	-0.93	4.82	3.97	236.59	6.40	0.02	0.01	0.17	72194.12	0.19
1182.5	291.38	0.85	290.48	-0.90	5.13	4.28	231.81	6.85	0.02	0.01	0.17	72472.78	0.19
1187.5	285.36	0.85	284.48	-0.88	5.47	4.62	227.02	7.34	0.02	0.01	0.17	72754.30	0.19
1192.5	279.33	0.83	278.48	-0.85	5.84	5.01	222.23	7.87	0.02	0.01	0.17	73038.83	0.19
1197.5	273.30	0.79	272.47	-0.83	6.23	5.43	217.45	8.46	0.02	0.01	0.17	73326.56	0.19
1202.5	267.28	0.73	266.47	-0.81	6.65	5.91	212.66	9.10	0.02	0.01	0.17	73617.75	0.19
1207.5	261.25	0.64	260.47	-0.78	7.10	6.45	207.88	9.81	0.02	0.01	0.17	73912.76	0.19
1212.5	255.23	0.51	254.47	-0.76	7.58	7.08	203.09	10.60	0.02	0.01	0.17	74212.17	0.19
1217.5	249.20	0.32	248.47	-0.73	8.12	7.80	198.30	11.49	0.02	0.01	0.17	74516.76	0.19
1222.5	243.18	0.06	242.47	-0.71	8.71	8.65	193.52	12.50	0.02	0.01	0.17	74827.53	0.20
1227.5	237.15	0.30	236.46	-0.68	9.39	9.10	188.73	13.34	0.02	0.01	0.17	75145.80	0.20
1232.5	231.12	0.77	230.46	-0.66	10.20	9.43	183.95	14.20	0.02	0.01	0.17	75473.17	0.20
1237.5	225.10	1.39	224.46	-0.64	11.14	9.75	179.16	15.15	0.02	0.01	0.17	75811.69	0.20
1242.5	219.07	2.20	218.46	-0.61	12.26	10.06	174.38	16.24	0.02	0.01	0.17	76163.92	0.20
1247.5	213.05	3.26	212.46	-0.59	13.61	10.35	169.59	17.52	0.02	0.02	0.17	76533.17	0.20
1252.5	207.02	4.61	206.46	-0.56	15.24	10.63	164.81	18.99	0.02	0.02	0.17	76923.79	0.20
1257.5	200.99	6.34	200.46	-0.54	17.22	10.88	160.02	20.74	0.01	0.02	0.17	77341.53	0.20
1262.5	194.97	8.53	194.46	-0.51	19.65	11.12	155.24	22.83	0.01	0.02	0.17	77794.20	0.20
1267.5	188.94	11.29	188.46	-0.49	22.64	11.35	150.46	25.37	0.01	0.02	0.17	78292.53	0.20
1272.5	182.92	14.75	182.46	-0.46	26.26	11.51	145.67	28.37	0.01	0.02	0.17	78851.34	0.21
1277.5	176.89	19.06	176.46	-0.43	30.62	11.56	140.89	31.89	0.01	0.03	0.17	79491.29	0.21

1282.5	170.86	24.40	170.46	-0.41	35.88	11.48	136.10	36.05	0.01	0.03	0.17	80241.15	0.21
1287.5	164.84	30.97	164.45	-0.38	42.23	11.26	131.32	40.99	0.01	0.04	0.17	81140.94	0.21
1292.5	158.81	39.02	158.45	-0.36	49.89	10.87	126.53	46.87	0.01	0.04	0.18	82245.90	0.21
1297.5	152.78	48.81	152.45	-0.33	59.12	10.31	121.75	53.89	0.01	0.05	0.18	83631.33	0.22
1302.5	146.75	60.66	146.45	-0.30	70.21	9.55	116.96	62.28	0.01	0.05	0.18	85398.11	0.22
1307.5	140.72	74.92	140.44	-0.28	83.50	8.58	112.17	72.29	0.01	0.06	0.18	87678.38	0.23
1312.5	134.68	91.96	134.43	-0.25	99.34	7.39	107.39	84.20	0.01	0.07	0.18	90640.30	0.24
1317.5	128.63	112.20	128.41	-0.22	118.16	5.96	102.59	98.34	0.01	0.09	0.18	94490.35	0.25
1322.5	122.58	136.09	122.39	-0.19	140.38	4.29	97.79	115.05	0.01	0.10	0.18	99471.07	0.26
1327.5	116.51	164.09	116.36	-0.15	166.47	2.38	92.99	134.70	0.01	0.12	0.19	105853.03	0.28
1332.5	110.43	196.67	110.32	-0.12	196.91	0.23	88.18	157.67	0.01	0.14	0.19	113920.88	0.30
1337.5	104.33	234.31	104.25	-0.08	232.16	-2.15	83.35	184.36	0.01	0.16	0.20	123955.32	0.32
1342.5	98.20	277.46	98.17	-0.03	272.70	-4.76	78.51	215.12	0.01	0.19	0.21	136214.24	0.36
1347.5	92.03	326.48	92.05	0.02	318.92	-7.56	73.65	250.29	0.01	0.22	0.22	150915.35	0.39
1352.5	85.83	381.70	85.90	0.07	371.15	-10.55	68.76	290.17	0.01	0.25	0.23	168221.52	0.44
1357.5	79.57	443.28	79.70	0.13	429.60	-13.68	63.85	334.92	0.01	0.29	0.25	188228.11	0.49
1362.5	73.25	511.24	73.46	0.20	494.32	-16.92	58.90	384.63	0.01	0.34	0.28	210950.19	0.55
1367.5	66.87	585.36	67.16	0.28	565.15	-20.21	53.91	439.18	0.01	0.39	0.31	236308.71	0.62
1372.5	60.44	665.15	60.81	0.37	641.64	-23.51	48.89	498.27	0.00	0.44	0.35	264114.59	0.69
1377.5	53.94	749.78	54.41	0.47	723.05	-26.72	43.83	561.34	0.00	0.49	0.40	294051.33	0.77
1382.5	47.41	838.03	47.99	0.58	808.25	-29.78	38.76	627.54	0.00	0.55	0.45	325657.87	0.85
1387.5	40.88	928.26	41.57	0.69	895.70	-32.57	33.70	695.71	0.00	0.61	0.52	358313.56	0.93
1392.5	34.39	1018.36	35.20	0.81	983.39	-34.97	28.68	764.33	0.00	0.67	0.59	391228.42	0.97
1397.5	28.01	1105.72	28.94	0.93	1068.89	-36.83	23.75	831.54	0.00	0.73	0.66	423441.98	0.97
1402.5	21.85	1187.34	22.89	1.04	1149.35	-38.00	18.98	895.16	0.00	0.79	0.74	453833.50	0.98
1407.5	16.02	1259.82	17.15	1.13	1221.52	-38.31	14.44	952.70	0.00	0.84	0.82	481146.27	0.98

1412.5	10.63	1319.51	11.83	1.20	1281.92	-37.59	10.23	1001.48	0.00	0.88	0.88	504027.14	0.98
1417.5	5.84	1362.67	7.06	1.22	1326.95	-35.72	6.43	1038.70	0.00	0.91	0.94	521080.28	0.99
1422.5	1.77	1385.66	2.97	1.21	1353.05	-32.61	3.15	1061.57	0.00	0.93	0.97	530932.15	0.99
1427.5	-1.47	1385.13	-0.33	1.14	1356.88	-28.25	0.46	1067.42	0.00	0.94	0.98	532301.75	0.98
1432.5	-3.81	1358.22	-2.79	1.02	1335.49	-22.73	1.58	1053.85	0.00	0.93	0.96	524068.63	0.98
1437.5	-5.21	1302.70	-4.36	0.85	1286.49	-16.22	2.94	1018.81	0.00	0.89	0.91	505330.85	0.98
1442.5	-5.73	1217.04	-5.07	0.66	1208.07	-8.97	3.64	960.72	0.00	0.84	0.83	475447.38	0.98
1447.5	-5.47	1100.36	-5.02	0.45	1099.07	-1.29	3.73	878.44	0.00	0.77	0.72	434066.94	0.98
1452.75	-4.53	943.35	-4.30	0.23	950.25	6.90	3.30	764.62	0.00	0.67	0.59	377914.36	0.98
1458.25	-3.10	742.90	-3.08	0.02	758.18	15.27	2.46	616.32	0.00	0.54	0.44	306417.89	0.80
1463.75	-1.59	505.22	-1.71	-0.12	537.00	31.78	1.45	449.94	0.00	0.40	0.32	226979.67	0.59
1469.25	-0.33	269.42	-0.62	-0.30	318.55	49.13	0.69	286.29	0.00	0.25	0.23	155674.11	0.41
1474.75	0.06	99.00	-0.04	-0.10	144.95	45.95	0.10	145.36	0.00	0.13	0.19	109490.55	0.29
1480.25	0.05	10.42	0.10	0.05	51.83	41.41	0.11	67.97	0.00	0.06	0.18	90295.45	0.24
1485.75	0.01	20.14	0.07	0.06	21.31	1.18	0.10	17.80	0.00	0.02	0.17	86565.39	0.23
1491.25	0.00	20.68	0.04	0.04	16.79	-3.89	0.06	10.94	0.00	0.01	0.17	86379.26	0.23
1496.75	0.00	11.08	0.02	0.02	10.77	-0.31	0.03	8.42	0.00	0.01	0.17	86225.46	0.22
1502.25	0.00	2.80	0.01	0.01	2.99	0.19	0.01	2.51	0.00	0.00	0.17	86125.95	0.22
1505	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	86116.67	0.22

LAMPIRAN D
TIMELINE Pengerjaan

Bulan	Maret				April			
Minggu	1	2	3	4	1	2	3	4
P1								
P2								
P3								
Revisi P1								
Perhitungan Wall Thickness								
Analisis On-Bottom Stability								
Catenary Analysis								
Permodelan Vessel								
Analisis Stabilitas Vessel								
Analisis Motion Vessel								
Permodelan instalasi								
Revisi P2								
Analisis statis tegangan pipa (kosong)								
Analisis Dinamis tegangan Pipa (kosong)								
Analisis Statis tegangan pipa (water filled)								
Analisis Dinamis tegangan pipa (water filled)								
Cek Wall thickness pipa (kosong)								
Cek Wall thickness pipa (water filed)								
Penyesuaian code DNV								

Bulan	Mei				Juni			
Minggu	1	2	3	4	1	2	3	4
P1								
P2								
P3								
Revisi P1								
Perhitungan Wall Thickness								
Analisis On-Bottom Stability								
Catenary Analysis								
Permodelan Vessel								
Analisis Stabilitas Vessel								
Analisis Motion Vessel								
Permodelan instalasi								
Revisi P2								
Analisis statis tegangan pipa (kosong)								
Analisis Dinamis tegangan Pipa (kosong)								
Analisis Statis tegangan pipa (water filled)								
Analisis Dinamis tegangan pipa (water filled)								
Cek Wall thickness pipa (kosong)								
Cek Wall thickness pipa (water filed)								
Penyesuaian code DNV								

Bulan	Juli			
Minggu	1	2	3	4
P1				
P2				
P3				
Revisi P1				
Perhitungan Wall Thickness				
Analisis On-Bottom Stability				
Catenary Analysis				
Permodelan Vessel				
Analisis Stabilitas Vessel				
Analisis Motion Vessel				
Permodelan instalasi				
Revisi P2				
Analisis statis tegangan pipa (kosong)				
Analisis Dinamis tegangan Pipa (kosong)				
Analisis Statis tegangan pipa (water filled)				
Analisis Dinamis tegangan pipa (water filled)				
Cek Wall thickness pipa (kosong)				
Cek Wall thickness pipa (water filed)				
Penyesuaian code DNV				

BIODATA PENULIS



Yosua Niko Putra Permata, lahir pada 28 Agustus 1996, di Bandung, Jawa Barat. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Orang tua bernama Wahyu Djatmiko dan M. K. Rais Trijiarsih. Mulai berdomisili di Surabaya sejak memulai jenjang pendidikan TK dan SD di Karitas V Surabaya. Kemudian dilanjutkan menempuh jenjang menengah di SMPK Angelus Custos 1 Surabaya, dan SMAK Frateran Surabaya. Di jenjang SMA, penulis memilih untuk masuk ke jurusan IPA dan berhasil masuk dalam kelas science. Setelah itu, penulis mengikuti Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan berhasil diterima di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) di Surabaya.

Penulis mulai kuliah di ITS pada tahun 2014. Selama berkuliah, penulis tertarik untuk lebih memperdalam di bidang *pipeline*. Penulis juga mendapat kesempatan untuk mengikuti Kerja Praktek di Eni Muara Bakau, B. V., sebuah perusahaan *Oil and Gas* asal Italia selama dua bulan untuk belajar mengenai *pipeline*. Dengan bimbingan dari Bapak Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE. M.Sc., dan Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc., penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **Kajian dan Perancangan Gas Pipeline untuk Laut Dalam dengan Metode J-Lay Ditinjau dari Kondisi Instalasi dan Operasi..**

Penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan dan organisasi selama perkuliahan. Organisasi yang diikuti penulis adalah Keluarga Mahasiswa Katolik ITS, mulai sebagai anggota, staff, sampai Kepala Departemen Internal. Kepanitiaan besar yang pernah diikuti penulis adalah OCEANO, yaitu event terbesar yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Kelautan.